ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1905 г. ТОМЪ 6 No. 5

# Закономѣрности въ спектрахъ

Л. О. Кордыша.

Въ послѣдніе годы спектроскопія нашла себѣ новое примѣненіе, которое обѣщаетъ быть болѣе плодотворнымъ, чѣмъ простое констатированіе присутствія того или другого вещества. Новыя области изслѣдованія обѣщаютъ дать намъ возможность составить себѣ болѣе обоснованное представленіе о природѣ и движеніяхъ атомовъ или ихъ зарядовъ.

Дѣло въ томъ, что—согласно установившимся воззрѣніямъ—мы должны въ числахъ колебаній, соотвѣтствующихъ какимъ-нибудь спектральнымъ линіямъ, видѣть числа колебаній частицы, обусловливающей своими качаніями данную спектральную линію, все равно, будемъ-ли мы принимать за таковую частицу молекулу, атомъ или электрическій зарядъ.

Относительно же механизма колебаній частицы, обусловливающей какую-нибудь спектральную линію въ частномъ случаѣ, и свѣтовой эффектъ въ общемъ случаѣ, т. е. относительно механизма испусканія свѣта (радіаціи) существуютъ воззрѣнія, которыя группируются, какъ извѣстно, въ двѣ категоріи. Къ пер-

вой относятся теоріи упругаго свѣтового эѳира. Здѣсь принимается существованіе зависимости между движеніями молекулъ или ихъ атомовъ и смѣщеніями упругаго эѳира. Всѣ остальныя воззрѣнія, исходящія изъ тождества факторовъ электрическихъ и свѣтовыхъ явленій, составляютъ вторую категорію; сюда же отнесена отдѣльная подгруппа воззрѣній, по которымъ вліяніе вѣсомой матеріи все болѣе и болѣе отодвигается на задній планъ; колеблются не атомы или молекулы, а электрическіе заряды на нихъ или въ нихъ (Герцъ); или можно вообразить себѣ испускающую частицу, какъ положительно заряженное тѣльце, окруженное извѣстнымъ числомъ отрицательныхъ электроновъ, какъ солнце — планетами; наконецъ можно совершенно устранить матерію и замѣнить ее аггрегатомъ электроновъ.

Станемъ на точку зрѣнія простѣйшей схемы — упругаго свѣтоваго эѳира.

Тѣла предполагаются состоящими изъ молекулъ, находящихся въ непрерывномъ движеніи. Въ твердыхъ тѣлахъ эти движенія будутъ происходить около нѣкоторыхъ опредѣленныхъ центровъ, потому что каждая молекула, тѣсно окруженная большимъ количествомъ другихъ молекулъ, находится въ сферѣ ихъ дѣйствія и изъ этой сферы во время своего движенія не выходитъ. Подобное же будетъ и для жидкостей. Но въ газахъ молекулы находятся въ такихъ относительно большихъ разстояніяхъ, что онѣ свободно могутъ странствовать, и только отъ времени до времени сталкиваются съ другими. Въ моментъ столкновенія молекула находится еще подъ дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ; поэтому, въ этотъ моментъ собственныя колебанія еще не могутъ свободно развиться, а, надо полагать, разовьются всевозможныхъ родовъ колебанія (принужденныя). Но если въ слѣдующее за столкновеніемъ время молекула будетъ предоставлена самой себѣ (въ газахъ), то неподходящія къ размѣрамъ молекулъ колебанія скоро затухаютъ и остаются собственныя колебанія. По аналогіи съ другими колебаніями большихъ тѣлъ заключаемъ, что собственныя колебанія молекулы могутъ быть не только *одного* опредѣленнаго періода; молекула имѣетъ еще возможность колебаться одновременно многими другими способами, съ другими періодами колебаній (обертоны); число

и сила возникающихъ обертоновъ зависитъ отъ силы и рода столкновеній.

Это невидимое молекулярное движеніе обусловливаетъ другое, видимое движеніе. Молекулы и атомы погружены въ эѳиръ. Поступательное движеніе молекулъ (напримѣръ, въ газахъ во время странствованія молекулъ отъ одной къ другой) можетъ еще привести эѳиръ въ движеніе, но не въ колебательное, и *въ свѣтъ* такое движеніе преобразовано быть не можетъ, ибо свѣтовой эффектъ вызывается колебательнымъ состояніемъ эѳира. Если вслѣдствіе столкновеній приходятъ въ колебанія молекулы и атомы, то и упругій эѳиръ приходитъ въ колебательное, волновое состояніе, такъ что существованіе послѣдняго, воспринимаемое нами въ формѣ свѣтового впечатлѣнія, указываетъ на происходящія измѣненія въ ихъ строеніи, отражающіяся въ измѣненіи колебаній. Какъ же теперь объяснить происхожденіе спектровъ того или другого вида?

Какъ было указано, молекулы твердыхъ и жидкихъ тѣлъ, непрерывно двигаясь, не находятся между тѣмъ въ такихъ условіяхъ, при которыхъ могли бы развиться собственныя колебанія. Наоборотъ, такъ какъ частицы всегда находятся подъ дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ, обусловленныхъ сосѣдними молекулами, то въ нихъ развиваются принужденныя колебанія всевозможныхъ періодовъ, а потому и соотвѣтствующія имъ колебанія эѳира будутъ всевозможныхъ періодовъ, т. е. всевозможныхъ періодовъ. Слѣдовательно, спектры твердыхъ и жидкихъ тѣлъ должны имѣть волны всѣхъ длинъ, т. е. быть непрерывными, что и наблюдается.

Иное будетъ въ свѣтящихся газахъ и парахъ; такъ какъ у нихъ между двумя послѣдовательными столкновеніями молекулъ проходятъ относительно большіе промежутки времени, то собственныя колебанія имѣютъ возможность развиться, и потому въ спектрѣ газовъ мы наблюдаемъ только соотвѣтствующія ихъ частицамъ длины волнъ. Въ этихъ *линейчатыхъ спектрахъ* фонъ, на которомъ выступаютъ спектральныя линіи, обыкновенно не бываетъ совершенно темнымъ; эту нѣкоторую туманность можно приписать моментальнымъ столкновеніямъ. Итакъ, линейчатые спектры обусловлены собственными колебаніями отдѣльныхъ атомовъ, которыя вызываются въ нихъ или столкновеніями молекулъ (если мы имѣемъ въ виду обыкновенное тепловое лучеис-

пусканіе), или разрывомъ молекулъ (при химическихъ процессахъ), или же нѣкоторою особою встряской (при электрическихъ процессахъ — при свѣченіи трубокъ съ разрѣженными газами). Въ электрическихъ теоріяхъ исходятъ изъ представленія, что каждый атомъ снабженъ вполнѣ опредѣленнымъ зарядомъ. Этотъ зарядъ воображаютъ размѣщеннымъ на атомѣ, но съ нимъ не соединеннымъ неизмѣнно. Когда молекула какимъ-нибудь изъ выше указанныхъ способовъ возмущена, то вибрируетъ элементарный зарядъ каждаго атома, и эти колебанія должны вызывать электромагнитныя волны въ окружающемъ эѳирѣ.

Итакъ, во всякомъ случаѣ, спектральныя линіи находятся въ такого же рода зависимости отъ излучающаго тѣла, въ какой находятся тоны отъ того звучащаго тѣла, колебаніями котораго они обусловлены. Собственныя колебанія звучащаго тѣла, напримѣръ, натянутой струны или шара, зависятъ отъ параметровъ тѣла (размѣровъ и упругихъ свойствъ тѣла). Зная эти параметры, можно вычислить высоту тона, издаваемаго тѣломъ. Но кромѣ этого тона (основного — наиболѣе низкаго) звучащее тѣло способно еще издавать многочисленные высшіе тоны (обертоны), бóльшая или меньшая интенсивность которыхъ зависитъ существенно отъ рода возбужденія колебаній.

Всѣ числа колебаній тоновъ можно выразить одною формулою, которая въ качествѣ постоянныхъ заключаетъ параметры колеблющагося тѣла и нѣкоторую величину $m$; приписывая ей одно изъ значеній послѣдовательнаго ряда простыхъ чиселъ, получаемъ высоты всѣхъ обертоновъ. Такъ, напр., числа колебаній $N$ цѣлой серіи тоновъ, издаваемыхъ колеблющеюся струною длины $L$, поперечнаго сѣченія $s$, плотности $d$ и натянутой грузомъ $P$ граммовъ, выражаются формулою

$$N=\frac{m}{2L}\sqrt{\frac{g\,P}{s\,d}},$$

гдѣ $g$ ускореніе силы тяжести и $m=1, 2, 3.....$

Если перенести эти воззрѣнія на спектральныя линіи, то слѣдуетъ ожидать, что цѣлый рядъ линій, какъ цѣлый рядъ обертоновъ, образованы одною и тою же колеблющеюся частицею, такъ что цѣлый рядъ спектральныхъ линій можетъ быть

обнятъ и выраженъ одною формулою. Эта формула должна также содержать постоянныя величины, характеризующія размѣры, массу атомовъ, междуатомныя силы и, кромѣ того, величину *m*, принимающую значенія ряда послѣдовательныхъ чиселъ, соотвѣтственно каждой новой линіи.

Проводя аналогію съ звуковыми колебаніями дальше, мы должны ожидать слѣдующее. Можетъ существовать одинъ тонъ (основной) съ цѣлой серіею высшихъ тоновъ (обертоновъ), закономѣрно съ нимъ связанныхъ; и можетъ быть, что при каждомъ тонѣ будетъ существовать своя система обертоновъ. Точно также всѣ линіи какого-нибудь линейчатаго спектра составляютъ или одну лишь серію линій, длины волнъ (или числа колебаній) которыхъ связаны въ одну формулу; или же линейчатый спектръ распадается на нѣсколько группъ, причемъ уже всѣ линіи каждой группы представляютъ серію закономѣрно связанныхъ линій.

Химическія свойства разныхъ элементовъ обусловлены тѣми же величинами, отъ которыхъ зависятъ возможныя колебанія—отъ размѣровъ, массъ атомовъ, междуатомныхъ силъ. Отсюда слѣдуетъ ожидать, что элементы химически сходные, напримѣръ, составляющіе какую-нибудь группу менделѣевской схемы, должны давать сходнымъ образомъ построенные спектры; химически отдаленные элементы—различные спектры, т. е. способъ построенія серій и число ихъ у отдаленныхъ элементовъ схемы Менделѣева должны быть различными. Такимъ образомъ, на первомъ планѣ стоитъ задача о нахожденіи серій линій и какой-нибудь зависимости между длинами волнъ (или между числами колебаній) всѣхъ линій какой-нибудь серіи. Если эти зависимости будутъ найдены, то, можетъ быть, найдется физическое значеніе постоянныхъ, входящихъ въ эти зависимости и ихъ связь съ постоянными, характеризующими какой-нибудь элементъ; вмѣстѣ съ этимъ можетъ быть представится возможность составить нѣкоторыя болѣе обоснованныя представленія о строеніи атомовъ.

Эти вопросы не новые. Уже въ 1869 г. Маскаръ указывалъ на возможное существованіе подобныхъ зависимостей и описалъ замѣченную имъ закономѣрность въ спектрѣ натрія. Но къ какимъ-нибудь фактическимъ результатамъ онъ не пришелъ; лишь въ послѣдніе годы удалось замѣтить нѣсколько важныхъ зако-

номѣрностей какъ въ полосчатыхъ спектрахъ (spectres de bandes), закономѣрность строенія которыхъ болѣе бросалась въ глаза, такъ и въ линейчатыхъ спектрахъ, въ которыхъ, на первый взглядъ, линіи разбросаны совершенно произвольно, какъ деревья въ лѣсу.

Разсмотримъ линейчатые спектры. Въ 1885 г. швейцарскій физикъ Бальмеръ, изучая спектръ водорода, замѣтилъ, что длины волнъ извѣстныхъ въ то время только четырехъ линій можно получить, если число $h = 3645 \cdot 6$ [1]) помножить соотвѣтственно на 9/5, 4/3, 25/21, 9/8; эти множители сами по себѣ не представляютъ никакого закономѣрнаго ряда; но легко замѣтить, что эти числа можно представить слѣдующимъ образомъ

$$H_\alpha = 9h/5 = 3^2h/(3^2-2^2)$$
$$H_\beta = 4h/3 = 4^2h/(4^2-2^2)$$
$$H_\gamma = 25h/21 = 5^2h/(5^2-2^2)$$
$$H_\delta = 9h/8 = 6^2h/(6^2-2^2).$$

Въ общемъ видѣ множителямъ при $h$ можно дать видъ $m^2/(m^2-n^2)$, гдѣ $n = 2$, а $m = 3$, 4, 5 и 6.

Слѣдовательно, длины волнъ четырехъ линій выражаются формулою:

$$\lambda = \frac{m^2}{m^2-n^2} h. \quad (1)$$

Слѣдующая таблица показываетъ насколько наблюденныя величины для $\lambda$ отличаются отъ вычисленныхъ по послѣдней формулѣ.

Табл. 1.

| | Наблюд. | Вычислен. |
|---|---|---|
| $H_\alpha$ | 6562·1 | 6562·1 |
| $H_\beta$ | 4860·7 | 4860·8 |
| $H_\gamma$ | 4340·1 | 4340·0 |
| $H_\delta$ | 4101·2 | 4101·3. |

[1]) Впослѣдствіи Бальмеръ нашелъ, что число $h = 3646 \cdot 13$ болѣе подходитъ.

Длины волнъ написаны въ единицахъ Ангстрёма ($=10^{-8}$ cm.) и взяты изъ наблюденій Роланда.

Бальмеръ задавался вопросомъ не содержитъ-ли спектръ водорода еще другихъ линій, которыя до сихъ поръ не были еще замѣчены, и вычислялъ длины волнъ возможныхъ линій, полагая въ (1) $m=7, 8, 9, \ldots$; оказывается, что полученныя такимъ образомъ длины волнъ съ величайшей точностью совпадаютъ съ длинами волнъ 29 новыхъ водородныхъ линій, открытыхъ значительно позже Пикерингомъ (1895 г.) и Эвершедомъ (1901 г.) въ спектрѣ протуберанцевъ.

Давая для $m$ непрерывно возростающія значенія, мы получимъ, что $\lambda = h$, при $m = \infty$. Такимъ образомъ, постоянная $h$ имѣетъ то физическое значеніе, что она представляетъ длину волны послѣдней линіи водородной серіи, т. е. теоретическій *конецъ* серіи. Слѣдующая таблица показываетъ разницу между вычисленными и наблюденными волнами

Табл. 2.

| m | λ (набл.) | λ (выч.) | m | λ (набл.) | λ (выч.) | m | λ (набл.) | λ (выч.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 6563·1 | 6563·1 | 11 | 3770·8 | 3770·8 | 19 | 3687·0 | 3687·0 |
| 4 | 4860·9 | 4861·5 | 12 | 3750·2 | 3750·3 | 20 | 3682·9 | 3682·9 |
| 5 | 4341·0 | 4340·6 | 13 | 3734·5 | 3754·5 | 21 | 3679·5 | 3679·5 |
| 6 | 4102·3 | 4101·9 | 14 | 3722·0 | 3722·1 | 22 | 3676·4 | 3676·5 |
| 7 | 3970·3 | 3970·2 | 15 | 3712·1 | 3712·1 | 23 | 3673·8 | 3673·9 |
| 8 | 3889·2 | 3889·2 | 16 | 3704·0 | 3704·0 | 24 | 3671·5 | 3671·5 |
| 9 | 3835·6 | 3835·5 | 17 | 3697·2 | 3697·3 | — | — | — |
| 10 | 3798·0 | 3798·0 | 18 | 3691·7 | 3691·7 | ∞ | теор. кон | 3646·1 |

Здѣсь мы имѣемъ блестящее доказательство полной примѣнимости формулы (1) Бальмера.

Эвершедъ указалъ еще, что къ этой серіи 29 линій примыкаетъ непрерывная свѣтло-мутная полоса. По мѣрѣ возростанія $m$ интенсивность найденныхъ 29 линій непрерывно слабѣетъ и линіи все болѣе и болѣе сдвигаются одна къ другой. Поэтому, можетъ быть, что примыкающая къ серіи туманная полоса представляетъ изъ себя остальныя линіи серіи, которая въ дѣйствительности, можетъ быть, имѣетъ до теоретическаго конца без-

численное множество ихъ, расположенныхъ одна непосредственно за другой. Во всякомъ случаѣ за мѣстомъ, соотвѣтствующимъ теоретическому концу, никакихъ признаковъ свѣтового эффекта не замѣтно.

Послѣ такого успѣшнаго начала Бальмеръ обратился къ изслѣдованію другихъ спектровъ, но здѣсь обнаружились значительныя разногласія между вычисленіями и наблюденіями. Главнымъ препятствіемъ служило то обстоятельство, что длины волнъ разныхъ линій были тогда опредѣлены далеко не съ достаточною точностью. Въ виду этого Кайзеръ и Рунге, занявшіеся этимъ же вопросомъ, взялись прежде всего за точное опредѣленіе длинъ волнъ въ спектрахъ цѣлаго ряда элементовъ. Имѣя нѣкоторый матеріалъ, они воспользовались формулою (1), написавъ ее въ обратномъ видѣ

$$\frac{1}{\lambda}=\frac{1}{h}\frac{m^2-4}{m^2}=A+Bm^{-2},$$

гдѣ $A$ и $B$ суть нѣкоторыя постоянныя. Но такъ какъ эта формула давала значительныя отклоненія отъ наблюденій, то Кайзеръ и Рунге выразили $1/\lambda$, какъ функцію отъ $m$, сходящимся рядомъ по возростающимъ отрицательнымъ степенямъ $m$, напр.

$$\frac{1}{\lambda}=A+Bm^{-1}+Cm^{-3}+\ldots.$$

или

$$\frac{1}{\lambda}=A+Bm^{-2}+Cm^{-4}+\ldots.$$

Такъ какъ формула Бальмера была частнымъ случаемъ послѣдней формулы, то и было болѣе всего вѣроятнымъ, что она можетъ лучше другихъ соотвѣтствовать дѣйствительности, какъ это въ самомъ дѣлѣ и оказалось. Слѣдовательно, эти формулы не выражаютъ какого нибудь закона природы, а суть лишь только первые члены разложенія въ сходящійся рядъ еще неизвѣстнаго выраженія; такъ что, если ограничиться только 3 членами:

$$\frac{1}{\lambda}=A+Bm^{-2}+Cm^{-4}\ldots. \tag{2}$$

то въ дѣйствительности нужно еще прибавить высшія степени. Это видно, между прочимъ, изъ того, что длинныя волны хуже выражаются этою формулою (всегда получаются слишкомъ малыя значенія $\lambda$); а съ присоединеніемъ къ формулѣ (2) членовъ съ высшими степенями, 6 или 8, эти ошибки могли бы быть исправлены; притомъ нужно замѣтить, что прибавленіе новыхъ членовъ можетъ значительно повліять только на значенія длинныхъ волнъ (для которыхъ $m$ имѣетъ низкія значенія 3, 4..), но не на короткія волны (которымъ соотвѣтствуютъ большія значенія $m$). Однако Кайзеръ и Рунге ограничились только тремя членами своей формулы, прежде всего потому, что результаты наблюденій все-таки довольно хорошо выражались ею (кромѣ первыхъ линій); далѣе потому, что съ увеличеніемъ числа членовъ становится все труднѣе точно вычислить значенія коэффиціентовъ $A$, $B$ и $C$; наконецъ, съ увеличеніемъ числа членовъ формула (2) нисходитъ все болѣе и болѣе на степень простой интерполяціонной формулы.

Одновременно съ Кайзеромъ и Рунге и совершенно независимо отъ нихъ занялся вопросами о закономѣрностяхъ въ спектрахъ шведскій физикъ Ридбергъ. При своихъ изслѣдованіяхъ онъ пользовался старыми измѣреніями Роланда и путемъ ряда разсужденій пришелъ къ формулѣ, сходной съ формулою (2); она имѣетъ видъ

$$\frac{1}{\lambda}=A+\frac{B}{(m+\mu)^2}\cdots, \tag{3}$$

гдѣ $m=1, 2, 3....$, а $\mu$ есть нѣкоторое малое число ($>0$ и $<1$), различное для разныхъ спектровъ. Какъ теперь оказывается, разсужденія Ридберга не были достаточно обоснованными.

Пользуясь своей формулою, Ридбергъ открылъ въ спектрахъ цѣлый рядъ закономѣрностей, которыя потомъ подтвердили Кайзеръ и Рунге на основаніи болѣе точныхъ измѣреній. По всей вѣроятности, болѣе полный видъ формулы (3) будетъ

$$\frac{1}{\lambda}=A+\frac{B}{(m+\mu)^2}+\frac{C}{(m+\mu)^4}+\cdots$$

Но Ридбергъ пользовался только формулою (3) съ двумя

членами и находитъ, что постоянная *B* одна и та же для всѣхъ элементовъ. Кайзеръ и Рунге находятъ, что значенія *B* у разныхъ элементовъ колеблются въ небольшихъ предѣлахъ, и потому не считаютъ возможнымъ согласиться съ мнѣніемъ Ридберга. Возможно, что въ точной формулѣ, выражающей истинный законъ, и окажется нѣкоторая общая для всѣхъ элементовъ постоянная, которая соотвѣтствуетъ *B*.

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію нѣсколькихъ спектровъ. Обыкновенно пользуются свѣтомъ вольтовой дуги между углями, насыщенными солями разныхъ веществъ. Прежде всего является такой вопросъ. Предположимъ, что мы желаемъ опредѣлить степень пригодности какой-нибудь формулы, напр. (2), къ спектру даннаго элемента. Въ такомъ случаѣ необходимо знать значенія коэффиціентовъ *A*, *B*, *C*. Для этого нужно написать три раза эту формулу и вставить туда послѣдовательно значенія $\lambda$ для трехъ линій и соотвѣтственныя послѣднимъ значенія *m*, т. е. номера взятыхъ изъ спектра линій. Но тутъ-то и неизвѣстно, какія выбрать линіи. Взять-ли ихъ подъ-рядъ или какъ-нибудь иначе? Въ спектрѣ желѣза до 5000 линій; всѣ ли онѣ выражаются одною формулою и составляютъ одну серію, или же онѣ распадаются на нѣсколько группъ, причемъ уже только всѣ линіи каждой группы будутъ составлять серіи закономѣрно связанныхъ линій, и каждой серіи будетъ соотвѣтствовать особая формула, съ особыми значеніями коэффиціентовъ *A*, *B*, *C*.

Тутъ на помощь является одна особенность линій, которая придаетъ особый физическій смыслъ серіямъ. Изъ наблюденій оказывается, что линіи, имѣющія одинаковый внѣшній видъ, могутъ быть связаны формулою, т. е. составляютъ серію.

Линіи въ спектрахъ бываютъ трехъ сортовъ: яркія съ рѣзко очерченными краями; менѣе яркія, но широкія, съ диффузными, размытыми краями, и совсѣмъ слабыя и тонкія линіи, при чемъ только одинъ край этихъ линій размытъ, именно въ сторону красной части спектра. Первыя линіи суть наиболѣе характерныя для спектра: наиболѣе яркія и легко обратимыя — онѣ составляютъ одну серію, которая называется *главною серіею*. Вторыя линіи, необратимыя или обратимыя съ трудомъ, составляютъ *первую побочную серію*. Остальныя линіи составляютъ *вторую*

*побочную серію* [1]). Линіи спектра Li представлены въ слѣдующей таблицѣ.

## ТАБЛ. 3.

Значенія λ, вычисленныя по форм. (2).

| Значенія λ изъ наблюденій | Интенсивность и внѣшній видъ линій | m | Главная серія | m | 1-ая побочная серія | m | 2-ая побочная серія |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8127·3 | 8 н. к. | | | | | 3 | 8192 |
| 6708·2 | 10 р. | 3 | 6600·08 | | | | |
| 6103·8 | 10 д. | | | 3 | 6103·77* | | |
| 4972·1 | 7 н. к. | | | | | 4 | 4972·11* |
| 4602·4 | 9 д. | | | 4 | 4602·37* | | |
| 4273·4 | 5 н. к. | | | | | 5 | 4273·44* |
| 4132·4 | 8 д. | | | 5 | 4132·44* | | |
| 3985·9 | 3 н к. | | | | | 6 | 3985·94* |
| 3915·2 | 6 д. | | | 6 | 3915·4* | | |
| 3838·3 | 1 н. к. | | | | | 7 | 3835·47 |
| 3794·9 | 5 д. | | | 7 | 3795·25 | | |
| 3718·9 | 3 д. | | | 8 | 3721·15 | | |
| 3670·6 | 1 д. | | | 9 | 3672·01 | | |
| 3232·8 | 8 р. | 4 | 3232·77* | | | | |
| 2741·4 | 6 р. | 5 | 2741·39* | | | | |
| 2562·6 | 5 р. | 6 | 2562·6* | | | | |
| 2475·1 | 4 р. | 7 | 2475·33 | | | | |
| 2425·5 | 3 р. | 8 | 2425·56 | | | | |
| 2394·5 | 2 р. | 9 | 2394·25 | | | | |
| 2373·9 | 1 р. | 10 | 2373·15 | | | | |
| 2359·4 | 1 р. | 11 | 2364·22 | | | | |

Обозначенія: н. к. =неясный красн., край линіи въ сторону краснаго неясно очерченъ; р. =рѣзк., края рѣзко очерчены; д. =дифф., оба края неясны, вся линія диффузна, расплывчата.

Въ первой колоннѣ приведены длины волнъ, взятыя изъ наблюденій Кайзера и Рунге. Во второй—оцѣнка интенсивности линій (10—соотвѣтствуетъ наиболѣе яркой линіи, 1—наиболѣе слабой). Буквы возлѣ цыфръ описываютъ внѣшній видъ линій. Къ характеристикѣ линій съ буквой *р.* (=рѣз.) относится то обстоятельство, что онѣ легко обратимы.

---

[1]) Эта терминологія серій предложена Кайзеромъ и Рунге. Ридбергъ называетъ ихъ: séries principales, nébuleuses et étroites (главныя, туманныя, узкія).

Для первой побочной серіи коэффиціенты вычислены слѣдующимъ образомъ: взяты три длины волны (отмѣченныя звѣздочкой); но неизвѣстно, какое $m$ будетъ соотвѣтствовать этимъ линіямъ $m=2$, 3, 4 или $m=3$, 4, 5 или $m=4$, 5, 6. Для этого нужно попробовать вычислить $A$, $B$, $C$ въ этихъ предположеніяхъ и выбрать тѣ значенія $A$, $B$, $C$ (а, слѣдов. и соотвѣтственный порядокъ для $m$), съ которыми лучше всего вычисляются остальныя линіи серіи. Въ большинствѣ случаевъ, $m$ опредѣляется безъ сомнѣній. Вычисляя такимъ образомъ $1/\lambda$ изъ формулы (2), мы получаемъ наименьшее возможное положительное значеніе для $1/\lambda$ обыкновенно при $m=3$.

Формулы (2) серій для литія съ вычисленными коэффиціентами $A$, $B$, $C$ имѣютъ слѣдующій видъ:

Главная серія $10^8 \lambda^{-1} = 43584{\cdot}73 - 133669\, m^{-2} - 110084\, m^{-4}$

1-ая побоч. сер. $10^8 \lambda^{-1} = 28686{\cdot}74 - 139825\, m^{-2} - 1847\, m^{-4}$

2-ая побоч. сер. $10^8 \lambda^{-1} = 28682{\cdot}69 - 136391\, m^{-2} - 231700\, m^{-4}$.

Первая постоянная $A$ каждой серіи даетъ число колебаній для послѣдней линіи въ каждой серіи, т. е. для *конца серіи*, въ которомъ собирается безконечно большое число линій. Такъ какъ съ возвышеніемъ $m$ интенсивность линій ослабѣваетъ, то для $m=\infty$ линія будетъ безконечно слабою и видѣть ея нельзя. Но вычислить ее можно; это значеніе $1/\lambda$ для $m=\infty$. И такъ какъ экстраполяція для короткихъ длинъ волнъ даетъ хорошіе результаты, то можно думать, что конецъ серіи вычисляется вѣрно. Во всякомъ случаѣ, за вычисленнымъ концомъ серіи не наблюдается болѣе линій. Для обѣихъ побочныхъ серій значенія $A$ (28686 и 28682) очень близки. Это мы находимъ для всѣхъ элементовъ, а потому, вѣроятно, справедливо утвержденіе Ридберга, что для всѣхъ элементовъ обѣ побочныя серіи кончаются въ одномъ и томъ же мѣстѣ спектра. Въ слѣдующей таблицѣ приведены значенія $A$ для нѣсколькихъ элементовъ.

### ТАБЛ. 4.

| Элементы | Значенія для *A*: въ 1-ой побочной серіи | во 2-ой побочной серіи | Разн. |
|---|---|---|---|
| H | 27418·75 | 27418·79 | − 0,04 |
| $He_I$ | 29222·63 | 29222·70 | − 0,07 |
| $He_{II}$ | 27175·00 | 27174·47 | + 0,53 |
| $O_I$ | 23205·40 | 23204·42 | + 0,98 |
| $O_{II}$ | 21207·66 | 21206·14 | + 1,52 |
| Li | 28582·16 | 28582·92 | − 0,76 |
| Na | 24471·36 | 24468·89 | + 2,47 |
| K | 21951·39 | 21959·52 | − 8,13 |
| Cu | 31552·55 | 31535·41 | +17,14 |
| Mg | 39755·32 | 39753·71 | + 1,61 |
| Cd | 40717·14 | 40716·42 | + 0,72 |
| Tl | 41469·63 | 41469·31 | + 0,32 |

У элементовъ *He* и *O* есть по двѣ первыхъ и по двѣ вторыхъ побочныхъ серій. Онѣ обозначены $H_I$ и $H_{II}$, $O_I$ и $O_{II}$.

Возьмемъ еще второй элементъ первой группы таблицы Менделѣева, натрій; его спектръ состоитъ изъ слѣдующихъ линій.

### ТАБЛ. 5.

Значенія λ, вычислен. по фор. (2).

| Наблюд. значенія λ | Интенсив. и видъ линій | Значенія 1/λ, вычисленныя по значеніямъ перваго столбца | m | Главная серія | m | 1-ая побоч. серія | m | 2 ая побоч. серія |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8194·76 | 8 н. к. | 12202·92 | | | 3 | 8194·76* | | |
| 8184·33 | 8 н. к. | 12218·47 | | | 3 | 8184·33* | | |
| 6161·15 | 8 н. к. | 16230·74 | | | | | 4 | 6161·14* |
| 6154·62 | 8 н. к. | 16247·96 | | | | | 4 | 6154·62* |
| 5896·16 | 9 р. | 16960·19 | 3 | 5818·7 | | | | |
| 5890·19 | 10 р. | 16977·38 | 3 | 5804·6 | | | | |

| Наблюд. значенія λ | Интенсив. и видъ линій | Значенія 1/λ, вычисленныя по значеніямъ перваго столбца | m | Главная серія | m | 1-ая побоч. серія | m | 2-ая побоч. серія |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5688·26 | 8 н. к. | 17580·07 | | | 4 | 5688·26* | | |
| 5682·90 | 7 н. к. | 17596·65 | | | 4 | 5682·90* | | |
| 5153·72 | 6 с. | 19403·46 | | | | | 5 | 5153·72* |
| 5149·19 | 5 с. | 19420·53 | | | | | 5 | 5149·19* |
| 4983·53 | 6 н. к. | 20066·1 | | | 5 | 4983·53* | | |
| 4979·30 | 5 н. к. | 20083·14 | | | 5 | 4979·30* | | |
| 4752·19 | 4 с. | 21042·93 | | | | | 6 | 4722·19* |
| 4748·36 | 3 с. | 21059·9 | | | | | 6 | 4748·36* |
| 4669·4 | 4 н. к. | 21416·03 | | | 6 | 4668·45 | | |
| 4665·2 | 3 н. к. | 21435·31 | | | 6 | 4664·68 | | |
| 4546·03 | 3 с. | 21997·21 | | | | | 7 | 4544·86 |
| 4542·75 | 2 с. | 22013·1 | | | | | 7 | 4541·36 |
| 4500·0 | 2 н. к. | 22222·22 | | | 7 | 4497·32 | | |
| 4494·3 | 2 н. к. | 22250·41 | | | 7 | 4493·8 | | |
| 4423·7 | 2 с. | 22605·51 | | | | | 8 | 4421·95 |
| 4420·2 | 2 с. | 22623·41 | | | | | 8 | 4418·61 |
| 4393·7 | 2 н. к. | 22759·86 | | | 8 | 4392·83 | | |
| 4390·7 | 1 н. к. | 22775·41 | | | 8 | 4389·40 | | |
| 4343·7 | 1 с. | 23021·85 | | | | | 9 | 4342·44 |
| 4325·7 | 1 н. к. | 23117·65 | | | 9 | 4329·94 | | |
| 3303·07 | 8 р. | 30274·87 | 4 | 3303·07* | | | | |
| 3302·47 | 8 р. | 30280·37 | 4 | 3302·47* | | | | |
| 2852·91 | 6 р. | 35051·93 | 5 | 2852·91* | | | | |
| 2680·46 | 4 р. | 37307·03 | 6 | 2680·46* | | | | |
| 2593·98 | 2 р. | 38550·8 | 7 | {2593·95<br>2593·89 | | | | |
| 2543·85 | 1 р. | 39310·49 | 8 | {2543·75<br>2543·61 | | | | |
| 2512·23 | 1 р. | 39805·27 | 9 | {2511·77<br>2511·58 | | | | |

Спектръ натрія состоитъ изъ такихъ линій, что для каждой линіи спектра можно найти еще другую линію, близкую ей по длинѣ волны, а внѣшній видъ и характеръ второй линіи таковы же, какъ и первой, такъ что линіи спектра натрія располагаются какъ бы въ пары; всего въ спектрѣ три серіи паръ. Въ спектрѣ натрія въ третьемъ столбцѣ приведены значенія не для длинъ волнъ λ, а для 1/λ, что будетъ выражать число волнъ,

приходящихся на единицу длины. Но $1/\lambda$ будетъ, очевидно, также пропорціональна числу колебаній волны, а потому, въ слѣдующемъ изложеніи для краткости прямо будемъ называть это отношеніе числомъ колебаній.

Наиболѣе яркія и обратимыя линіи составляютъ главныя серіи; ихъ двѣ. Возьмемъ три пары линій, соотвѣтствующія $m=4$, 5 и 6; по первымъ линіямъ каждой изъ этихъ паръ можно вычислить $A$, $B$, $C$ для формулы, съ помощью которой вычисляются остальныя линіи первой серіи изъ пары главныхъ серій; вторыя линіи паръ дадутъ вторую формулу.

Возьмемъ первую пару ($m=3$) и вторую пару ($m=4$) главной серіи. Ихъ разность колебаній будетъ 17·2 и 5·5; легко видѣть, что $17{\cdot}2/5{\cdot}5=4^4/3^4$, т. е. разности чиселъ колебаній обратно-пропорціональны четвертымъ степенямъ изъ номеровъ ($m$) этихъ колебаній. Это оправдывается во всѣхъ элементахъ, но только для главныхъ серій. Кромѣ того, формулы главныхъ серій суть

$$10^8\lambda^{-1}=41542{\cdot}18-130233\,m^{-2}-800791\,m^4$$

$$10^8\lambda^{-1}=41544{\cdot}33-139710\,m^{-2}-700751\,m^4$$

т. е. первые члены $A$ одинаковы въ парѣ главныхъ серій, а потому обѣ серіи кончаются въ одномъ и томъ же мѣстѣ спектра.

Возьмемъ теперь линіи, составляющія первую побочную серію паръ. Здѣсь будемъ имѣть также двѣ формулы, одну для первыхъ линій всѣхъ паръ, вторую для вторыхъ линій. Для этихъ паръ оказывается, что разность чиселъ колебаній каждой пары постоянна (почти) и равна разности чиселъ колебаній первой пары линій въ главной серіи (т. е. около 17·2—линіи $D$). Во второй побочной серіи разность чиселъ колебаній паръ также постоянна и притомъ та же, что и для первой побочной серіи (и, слѣд., для линій $D$ въ главной серіи). Отсюда вытекаетъ слѣдующее: если мы пожелаемъ написать формулу

$$\frac{1}{\lambda}=A+Bm^{-2}+Cm^{-4}$$

для всѣхъ четырехъ серій обѣихъ побочныхъ серій (по парѣ въ каждой серіи), то намъ нужно будетъ знать не 12 постоянныхъ, а только 6, именно:

$$\text{для первой побоч. серіи: } \begin{cases} A & B & C \\ A+a & B & C \end{cases}$$

$$\text{для второй побоч. серіи: } \begin{cases} A & B_1 & C_1 \\ A+a & B_1 & C_1, \end{cases}$$

гдѣ $a$ есть нѣкоторое число (именно, разность чиселъ колебаній). Въ самомъ дѣлѣ, напишемъ основныя формулы для пары серій, напримѣръ, первой побочной серіи:

$$N = A + Bm^{-2} + Cm^{-4}$$
$$N_1 = A' + B'm^{-2} + C'm^{4}$$

гдѣ $N$ обозначаетъ число колебаній ($1/\lambda$). Возьмемъ разность чиселъ колебаній $N - N'$:

$$N - N' = (A - A') + (B - B')m^{-2} + (C - C')m^{-4}.$$

Выше указано, что разность чиселъ колебаній постоянна для всѣхъ паръ въ серіи, т. е. не зависитъ отъ $m$. Это возможно, когда $B = B'$ и $C = C'$; то же самое будетъ и для пары серій во второй побочной серіи. Слѣдовательно, различныхъ постоянныхъ въ обѣихъ побочныхъ серіяхъ будетъ только 6. Это замѣчаніе облегчаетъ нахожденіе линій въ разныхъ серіяхъ обѣихъ побочныхъ серій.

Вышеуказанныя особенности относятся ко спектрамъ всѣхъ элементовъ щелочной группы. Всѣ ихъ линіи удалось разложить въ серіи. Внутри этой группы интенсивности побочныхъ серій сильно убываютъ съ увеличеніемъ атомнаго вѣса и, въ особен ности, интенсивность 2-ой побочной серіи, такъ что отыскать таковую для нѣкоторыхъ элементовъ, напр. *Rb*, *Cs*, чрезвычайно трудно. Для остальныхъ элементовъ первой группы — *Cu*, *Ag*, *Au* — разложеніе линій въ серіи еще не доведено до конца. Здѣсь труднѣе всего составить главную серію, тогда какъ побочныя серіи составлены. Особенностью здѣсь является то, что первыя линіи паръ въ 1-ой побочной серіи не простыя, а двойныя. Но и здѣсь разность чиселъ колебаній для паръ 1-ой и 2-ой серіи одинакова.

Вторая колонна менделѣевской таблицы опять распадается

по характеру спектровъ на двѣ группы. Къ первой относятся: *Be*, *Mg*, *Ca*, *Sr*, *Ba*.

Спектръ *Mg* составляется изъ слѣдующихъ линій:

ТАБЛ. 6.

Разн. между наблюден. и вычислен. по (2) значеніями λ.

| λ | $\frac{1}{\lambda}$ | m | 1-ая побоч. серія | m | 2-ая побоч. серія |
|---|---|---|---|---|---|
| 5183·84 | 19290·72 | | | 3 | +53·22 |
| 5172·87 | 19331·63 | | | 3 | +53·07 |
| 5167·55 | 19351·53 | | | 3 | +52·98 |
| 3838·44 | 26052·25 | 4 | −0 02 | | |
| 3832·46 | 26092·9 | 4 | +0·00 | | |
| 3829·51 | 26113·0 | 4 | +0·03 | | |
| 3336·83 | 29968·56 | | | 4 | − 0·03 |
| 3332·28 | 30009·48 | | | 4 | − 0·00 |
| 3330·08 | 30029·31 | | | 4 | + 0·03 |
| 3097·06 | 32288·69 | 5 | +0·01 | | |
| 3093·14 | 32329·61 | 5 | −0·01 | | |
| 3091·18 | 32350·11 | 5 | −0·03 | | |
| 2942·21 | 33988·06 | | | 5 | + 0·05 |
| 2938·67 | 34029·0 | | | 5 | − 0·01 |
| 2936·99 | 34048·46 | | | 5 | − 0·01 |
| 2852·22 | 35147·92 | 6 | +0·33 | | |
| 2848·53 | 35105·83 | 6 | +0·31 | | |
| 2846·91 | 35125·8 | 6 | +0·33 | | |
| 2781·53 | 35951·44 | | | 6 | − 0·02 |
| 2778·36 | 35992·46 | | | 6 | − 0·01 |
| 2776·8 | 36012·68 | | | 6 | − 0·03 |
| 2736·84 | 36538·49 | 7 | +0·00 | | |
| 2733·8 | 36579·12 | 7 | +0·00 | | |
| 2732·35 | 36598·53 | 7 | +0·06 | | |
| 2698·44 | 37058·45 | | | 7 | + 0·11 |
| 2695·53 | 37098·46 | | | 7 | + 0·20 |
| 2693·97 | 37119·94 | | | 7 | + 0·09 |
| 2672·9 | 37412·55 | 8 | −0·25 | | |
| 2669·84 | 37455·43 | 8 | −0·41 | | |
| 2668·26 | 37477·61 | 8 | −0·55 | | |
| 2649·3 | 37745·82 | | | 8 | + 0·27 |
| 2646·61 | 37784·18 | | | 8 | + 0·47 |
| 2645·22 | 37804·04 | | | 8 | + 0·47 |
| 2633·13 | 37977·62 | 9 | −0·67 | | |
| 2630·52 | 38015·29 | 9 | −0·46 | | |
| | | 10 | 2607·6 | | |
| 2605·4 | 38381·82 | 10 | λ: 2604·9 | | |
| | | 10 | 2603·5 | | |

Спектръ магнія распадается на *триплеты*, т. е. на группы изъ 3 линій, длины волнъ коихъ немногимъ отличаются одна отъ другой. Первая побочная серія состоитъ изъ болѣе яркихъ, вторая изъ менѣе яркихъ линій, но болѣе отчетливыхъ, нерасплывчатыхъ. Разность между числами колебаній первой и второй линій каждаго триплета, $a_1$, а также второй и третьей линій, $a_2$,—постоянны для каждой серіи.

Теперь, слѣдов., каждая побочная серія будетъ состоять изъ трехъ серій. Первыя линіи всѣхъ триплетовъ какой нибудь побочной серіи составятъ одну серію, вторыя линіи — вторую, третьи—третью. Назовемъ эти послѣднія серіи второстепенными. Формулы этихъ серій будутъ

$$\frac{1}{\lambda}=A+Bm^{-2}+Cm^{-4}$$

$$\frac{1}{\lambda}=A+a_1+Bm^{-2}+Cm^{-4}$$

$$\frac{1}{\lambda}=A+a_1+a_2+Bm^{-2}+Cm^{-4}$$

Коэффиціенты $B$ и $C$ одинаковы во всѣхъ трехъ формулахъ одной и той же побочной серіи, ибо, какъ было указано, разности $a_1$ и $a_2$ чиселъ колебаній постоянны для всѣхъ линій каждой изъ побочныхъ серій, т. е. не зависятъ отъ номеровъ ($m$).

Напишемъ для примѣра выраженія съ числовыми значеніями $A$, $B$ и $C$ для первыхъ серій (изъ второстепенныхъ) обѣихъ побочныхъ серій спектра марганца.

1-ая поб. сер.: $10^8\lambda^{-1}=39796{\cdot}1-130398\,m^{-2}-1432090\,m^{-4}$

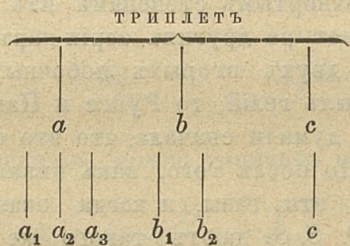
$$a_1=40{\cdot}7;\quad a_2=20{\cdot}2$$

2 ая поб. сер.: $10^8\lambda^{-1}=39836{\cdot}7\;-125471\,m^{-2}-\;518781\,m^{-4}$

$$a_1=41{\cdot}2;\quad a_2=19{\cdot}9.$$

Нельзя съ достовѣрностью сказать, равны-ли въ двухъ послѣднихъ формулахъ $a_1$ между собой, а также $a_2$, между собой.

Ибо болѣе внимательное разсмотрѣніе спектра показываетъ, что каждая изъ линій, составляющихъ какой-нибудь триплетъ, не простая, а сложная, и потому, вѣроятно, написанныя въ таблицѣ 6 длины волнъ не вполнѣ вѣрно опредѣлены. Если сравнить подобные триплеты въ спектрахъ другихъ элементовъ этой же группы, то тамъ, дѣйствительно, оказывается, что линіи сложны. Такъ напр., возьмемъ спектръ *Ca*. Первая побочная серія имѣетъ сложное строеніе линій. Здѣсь триплетъ вмѣсто простыхъ линій *a*, *b*, *c* имѣетъ слѣдующее сложное строеніе: линія *a* замѣняется тремя линіями $a_1$, $a_2$ и $a_3$, а линія *b* — двумя $b_1$ и $b_2$




При вычисленіи коэффиціентовъ *A*, *B* и *C* формулы для первой побочной серіи берутъ среднюю линію изъ тройной, т. е. $a_2$, и бо́льшую изъ двойной линіи *b*.

Опять можно замѣтить, что серіи, обнимающія только первыя линіи триплетовъ или только вторыя линіи, или только третьи, и въ первой побочной серіи, и во второй—выходятъ каждый разъ изъ одного мѣста спектра.

Стоящіе отдѣльно элементы второй группы *Zn*, *Cd*, *Hg* даютъ подобные же спектры. Они отличаются только тѣмъ, что въ триплетахъ, изъ которыхъ составлена первая побочная серія, строеніе каждой линіи еще сложнѣе. Напр., въ спектрѣ ртути триплетъ первой побочной серіи при внимательномъ изученіи оказывается составленнымъ слѣдующимъ образомъ:



т. е. первая линія $a$ триплета имѣетъ четыре слагающихъ $a_1$, $a_2$, $a_3$, $a_4$, вторая — три: $b_1$, $b_2$, $b_3$ и т. д.

Элементы третьей группы таблицы Менделѣева даютъ серіи паръ, какъ это было и въ первой группѣ. Строеніе линій въ парахъ первой побочной серіи опять сложное.

Изученіе слѣдующихъ группъ еще не закончено. Спектры элементовъ этихъ группъ еще сложнѣе. Такъ, напр., спектръ гелія имѣетъ 6 серій паръ; двѣ изъ нихъ имѣютъ характеръ главныхъ серій, т. е. состоятъ изъ паръ рѣзкихъ, легко обратимыхъ линій, у которыхъ разность чиселъ колебаній обратно-пропорціональна четвертымъ степенямъ изъ номеровъ ($m$) линій (см. спектръ $Na$); четыре другихъ серіи паръ имѣютъ характеръ двухъ первыхъ и двухъ вторыхъ побочныхъ серій, такъ что, когда Рамзай открылъ гелій, то Рунге и Пашенъ по указанному характеру спектра думали сначала, что это смѣсь двухъ газовъ, гелія и паргелія. Но послѣ того, какъ никакими средствами не удалось раздѣлить эти газы, и когда оказалось, что другіе элементы, напр. $O$, $S$, $Se$ даютъ такого же строенія спектры, стало яснымъ, что открытый Рамзаемъ газъ гелій однороденъ.

Резюмируя все сказанное, мы приходимъ къ слѣдующимъ закономѣрностямъ въ спектрахъ.

I. Обѣ побочныя серіи кончаются въ одномъ и томъ же мѣстѣ спектра. Если линіи каждой серіи не простыя, а двойныя, то въ спектрѣ есть два мѣста схожденія. (Для первыхъ линій обѣихъ серій — одно мѣсто, для вторыхъ линій — другое мѣсто, въ которомъ сходятся обѣ побочныя серіи).

II. Если линіи главной серіи двойныя, т. е. главная серія состоитъ изъ паръ линій, образующихъ двѣ отдѣльныя серіи, то обѣ эти серіи имѣютъ въ спектрѣ общій конецъ.

III. Линіи первой побочной серіи имѣютъ сложное строеніе. Разность чиселъ колебаній паръ линій этой серіи постоянна и равна разности чиселъ колебаній второй побочной серіи и первой пары главной серіи.

IV. Ридбергъ открылъ еще важную зависимость между главною серіею и второю побочною серіею. Напишемъ его формулу (3) для главной серіи

(1) $$\frac{1}{\lambda}=A-\frac{B}{(m+\mu)^2}$$

и для 2-ой побочной серіи

$$\frac{1}{\lambda} = A_2 - \frac{B}{(m+\mu_2)^2}. \tag{2}$$

Предъ $B$ поставленъ знакъ — потому, что изъ вычисленій коэффиціентовъ $A$ и $B$ оказывается, что $B$ отрицательно. По мнѣнію Ридберга $B$ одинаково для всѣхъ элементовъ. Далѣе, изъ наблюденій оказывается, что во всѣхъ главныхъ серіяхъ при $m=1$ получается первая линія серіи, а для побочной серіи первая линія получается при $m=2$. Изъ вычисленій же оказывается, что всегда

$$A = \frac{B}{(1+\mu_2)^2} \quad (3) \qquad\qquad A_2 = \frac{B}{(1+\mu)^2}. \quad (4)$$

Уравненіе (4), очевидно, можно написать въ такомъ видѣ

$$A - A_2 = A - \frac{B}{(1+\mu)^2} = \frac{1}{\lambda_1}. \tag{5}$$

Лѣвая часть равенства (5) представляетъ разность чиселъ колебаній концовъ (послѣднихъ линій) главной и второй побочной серій; правая же часть ур—ія (5) есть число колебаній первой линіи ($m=1$) главной серіи. Итакъ, уравненіе (5) выражаетъ, что число колебаній первой линіи главной серіи равно разности $A-A_2$ чиселъ колебаній послѣдней линіи главной серіи и послѣдней линій одной изъ побочныхъ серій (ибо обѣ кончаются въ одномъ и томъ же мѣстѣ спектра). Насколько сходятся результаты вычисленій и наблюденій, видно, напр., изъ слѣдующей таблицы

ТАБЛ. 7.

| | A | $A_2$ | $A-A_2$ | $1/\lambda_1$ (набл.) |
|---|---|---|---|---|
| Li | 43584 | 28627 | 14957 | 14907 |
| Na | 41542 | 24521 | 17021 | 16977 |
| K | 35086 | 22006 | 13080 | 13045 |
| Rb | 33762 | 20919 | 12843 | 12811 |
| Cs | 31509 | 19743 | 11766 | 11726 |

Это соотношеніе между главною и побочною серіями даетъ возможность опредѣлить члены главной серіи въ тѣхъ спектрахъ, гдѣ главныя серіи еще не найдены или еще невполнѣ изслѣдованы, ибо, зная линіи 2 ой побочной серіи, которая наблюдается всегда, можно по ур-іямъ (3), (4) и (5) вычислить коэффиціенты для формулы главной серіи.

Въ спектрахъ многихъ элементовъ не всѣ серіи еще найдены и составлены. Вообще, чѣмъ выше температура плавленія элемента, тѣмъ менѣе полно представляется его спектръ при температурѣ вольтовой дуги, а потому можно предположить, что еще не достигнуты необходимыя условія для образованія ихъ полнаго спектра.

Ридбергъ замѣтилъ еще, что для паръ и триплетовъ внутри каждой менделѣевской группы разности $a_1$ и $a_2$ чиселъ колебаній возростаютъ съ увеличеніемъ атомнаго вѣса, но такъ, что внутри одной и той же группы разности $a$ пропорціональны квадратамъ атомныхъ вѣсовъ $P$. Это соотношеніе лишь приблизительное, какъ это видно изъ слѣдующей табл., для первыхъ двухъ группъ:

| Первая группа: | | | | | | Вторая группа: | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $a$ | $aP/^2$ | | $a$ | $a/P^2$ | | $a_1$ | $a_1/P^2$ | $a_2$ | $a_2/P\cdot$ | | $a_1$ | $a_1/P^2$ | $a_2$ | $a_2/P^2$ |
| Na | 17 | 325 | | | | Mg | 41 | 713 | 20 | 387 | | | | | |
| K | 57 | 381 | | | | Ca | 106 | 638 | 52 | 325 | | | | | |
| | | | Cu | 249 | 622 | | | | | | Zn | 389 | 918 | 190 | 444 |
| Rb | 234 | 322 | | | | Sr | 394 | 517 | 187 | 244 | | | | | |
| | | | Ag | 921 | 794 | | | | | | Cd | 1171 | 929 | 542 | 432 |
| Cs | 545 | 309 | | | | | | | | | Ba | 1375 | 980 | 870 | 450 |
| | | | Au | 3817 | 981 | | | | | | Hg | 4633 | 1161 | 1768 | 441 |

Раньше было упомянуто, что при распредѣленіи линій по серіямъ дѣйствительная принадлежность какихъ-нибудь линій спектра къ одной и той же серіи прямо указывалась ясно выраженнымъ общимъ всѣмъ линіямъ серіи физическимъ характеромъ. Такъ, напр., главная серія составляется изъ легко обратимыхъ линій, вообще, наиболѣе яркихъ въ спектрѣ, съ рѣзко

очерченными краями; въ первой побочной серіи линіи менѣе ярки, съ диффузными краями; во второй побочной серіи линіи еще слабѣе, тоньше, причемъ одинъ только край линіи бываетъ размытъ. Но этотъ пріемъ распредѣленія линій въ серіи нельзя назвать удобнымъ, ибо внѣшній видъ линіи—понятіе неопредѣленное, не поддающееся правильной числовой оцѣнкѣ. Кромѣ того, внѣшній видъ линій зависитъ отъ случайныхъ внѣшнихъ обстоятельствъ, напр. отъ разрѣшающей способности спектроскопа, плотности паровъ элементовъ, дающихъ спектръ, температуры и т. д. Болѣе надежные способы опредѣленія состава серій можно основать на слѣдующихъ правилахъ, установленныхъ опытомъ.

1) При измѣненіи давленія, подъ которымъ находится свѣтящій газъ, всѣ линіи одной серіи испытываютъ одинаковое относительное смѣщеніе $\Delta\lambda/\lambda = A(p_1 - p_0)$, гдѣ $p_1 - p_0$ есть измѣненіе давленія и $A$ постоянная одинаковая для всѣхъ линій одной той же категоріи.

2) Въ магнитномъ полѣ спектральныя линіи расщепляются, при чемъ линіи, принадлежащія одной и той же серіи, расщепляются одинаковымъ образомъ. Это очень надежный способъ, но довольно трудно осуществляемый на практикѣ.

То, что серіи не представляютъ изъ себя случайнаго собранія линій, длины волнъ (или числа колебаній) которыхъ чисто внѣшнимъ образомъ связаны въ какую-то числовую зависимость, а выражаютъ нѣкоторую дѣйствительно существующую физическую индивидуальность, это указывается еще нѣкоторыми другими явленіями. Такъ, если въ цѣпь перемѣннаго тока ввести сопротивленія съ самоиндукціею, или ввести жидкое сопротивленіе во вторичную цѣпь индуктора, или ввести лейденскую банку, то видъ спектра отъ искры между двумя электродами изъ какого-нибудь металла и строеніе его линій значительно измѣняются.

Было сдѣлано много попытокъ теоретически связать и объяснить всѣ вышеприведенные результаты наблюденій, но до сихъ поръ ни одна изъ предложенныхъ теорій не была въ состояніи истолковать всѣхъ явленій. На строеніе колеблющейся частицы или атома и на его движеніе вліяютъ многочисленные факторы, и зависимость явленія отъ этихъ факторовъ представляетъ еще загадку.

Пока, повидимому, представляется возможнымъ заключить изъ наблюденій надъ серіями, что закономѣрно связанныя линіи происходятъ отъ одного и того же атома, при чемъ здѣсь подъ атомомъ слѣдуетъ понимать не химическій атомъ, а вообще испускающую волны частицу, которая, по теоріи диссоціаціи, вѣроятно, значительно меньше. Такъ что каждая отдѣльная серія линій (не пары и не триплеты серій) происходитъ отъ одного атома. Если же мы наблюдаемъ въ нѣкоторыхъ спектрахъ пары и триплеты серій, т. е. если въ спектрѣ есть по двѣ или по три серіи, мало отличающихся одна отъ другой, то это указываетъ на вѣроятное сходство структуръ атомовъ, которые испускаютъ отдѣльныя серіи. Такъ какъ на отдѣльныя составляющія паръ или триплетовъ серій магнитное поле вліяетъ различно, то мы должны заключить, что не вся эта серія обусловливается однимъ атомомъ; такъ какъ обѣ серіи существуютъ не всегда вмѣстѣ, но иногда и раздѣльно, то слѣдуетъ заключить, что различныя серіи одного спектра, напр. обѣ побочныхъ серіи, вызываются не однимъ и тѣмъ же атомомъ.

Кіевъ, 1905.

---

## Атомное строеніе электричества

### Дж. Дж. Томсона[1]).

### 1. *Зарядъ іона.*

Извѣстны свойства силовыхъ нитей—ихъ напряженіе, масса заключающагося въ нихъ эѳира, а также распространяющійся по нимъ электрическій токъ. Наша задача изучить тѣ электрическіе заряды, которые образуютъ начало и конецъ этихъ нитей. Мы покажемъ, что существуютъ вѣскія основанія принять, что эти заряды имѣютъ атомное строеніе, такъ что каж-

---

[1]) Переводъ одной главы изъ „Electricity and Matter“ by J. J. Thomson F. R. S.

дый зарядъ состоитъ изъ большаго или меньшаго числа ограниченныхъ индивидуальныхъ зарядовъ, которые всѣ равны между собою, подобно тому, какъ—по атомистической теоріи матеріи—данное количество водорода составлено изъ опредѣленнаго числа малыхъ частицъ, называемыхъ атомами, которыя всѣ между собою одинаковы. Если это представленіе о строеніи электричества справедливо, то каждый конецъ Фарадеевской трубки есть мѣсто, въ которое сходится или изъ котораго выходитъ постоянное и опредѣленное число нитей.

Для доказательства разсмотримъ сперва законы электролиза. Фарадей показалъ, что когда электричество проходитъ по жидкому электролиту, то какъ количество отрицательнаго электричества, которое отдается аноду, такъ и количество положительнаго электричества, которое отдается катоду, пропорціонально числу атомовъ вещества, отдѣляющагося на электродѣ. Сперва будемъ имѣть въ виду одновалентные атомы, напр. атомы водорода, хлора, натрія и т. д. Фарадей показалъ, что когда одно и то же число атомовъ этихъ веществъ отдаетъ свои заряды электроду, то количество сообщеннаго электричества одинаково, все равно доставляется-ли оно атомами водорода, атомами хлора или атомами натрія; отсюда слѣдуетъ, что каждый атомъ этихъ элементовъ обладаетъ однимъ и тѣмъ же зарядомъ. Перейдемъ теперь къ двухвалентнымъ элементамъ; и здѣсь оказывается, что іоны всѣхъ двухвалентныхъ элементовъ обладаютъ одинакими зарядами, но данное число іоновъ двухвалентнаго элемента обладаетъ вдвое бо́льшимъ зарядомъ, чѣмъ такое же число іоновъ одновалентнаго элемента, откуда слѣдуетъ, что каждый іонъ двухвалентнаго элемента имѣетъ вдвое бо́льшій зарядъ, чѣмъ одновалентный іонъ. Трехвалентный іонъ имѣетъ втрое бо́льшій зарядъ, чѣмъ одновалентный и т. д. Такимъ образомъ при электролизѣ растворовъ зарядъ іона или равняется заряду іона водорода или вдвое, или втрое и т. д. больше этого заряда. Заряды всегда цѣлые кратные отъ заряда атома водорода; дроби этого заряда никогда не встрѣчаются. Это чрезвычайно важное обстоятельство доказываетъ, какъ замѣтилъ Гельмгольцъ въ своей Фарадеевской рѣчи, что „если мы примемъ гипотезу объ атомномъ строеніи элементарныхъ веществъ, то неминуемо придемъ къ заключенію, что электричество, какъ положительное, такъ и от-

рицательное, раздѣлено на опредѣленныя элементарныя количества, которыя играютъ роль атомовъ электричества".

Если обратиться къ электрическому току въ газахъ, то атомный характеръ электричества выступаетъ еще яснѣе, чѣмъ при разсмотрѣніи тока въ жидкостяхъ, главнымъ образомъ потому, что о первомъ явленіи мы знаемъ больше, чѣмъ о второмъ.

Разсмотримъ ближе нѣкоторыя свойства тока въ газахъ. Если газъ сдѣланъ электропроводнымъ, напр. вслѣдствіе дѣйствія на него рёнтгеновскихъ лучей, то и по устраненіи лучей онъ сохраняетъ эту способность достаточно долго, чтобы мы могли ее изучить. Проводимость газа можетъ быть отфильтрована, если пропустить его чрезъ вату или воду. Слѣд. электропроводность газа обусловливается чѣмъ-то, что къ нему примѣшано и что можетъ быть отфильтровано отъ него. Газъ теряетъ свою проводимость также и въ томъ случаѣ, если его пропустить чрезъ сильное электрическое поле. Все это доказываетъ, что та составная часть газа, которая обусловливаетъ его проводимость, состоитъ изъ заряженныхъ частичекъ, которыя мы будемъ называть газіонами, и что способность газа проводить электричество происходитъ отъ движенія этихъ газіоновъ. Въ кавендишской лабораторіи заряды газіоновъ были измѣрены.

Принципъ способа, который былъ сначала примѣненъ, состоялъ въ слѣдующемъ. Если въ газѣ имѣется $n$ отрицательныхъ газіоновъ и $n$ положительныхъ газіоновъ, и если каждый газіонъ обладалъ зарядомъ $e$, то нетрудно опредѣлить $ne$, т. е. находящееся въ газѣ количество электричества одного знака. Для этого газъ заключаютъ между двумя металлическими пластинками, изъ коихъ одна изолирована; если другую пластинку внезапно зарядить до очень высокаго потенціала, то она будетъ отталкивать положительные газіоны, которые достигнутъ изолированной пластинки и притомъ раньше, чѣмъ успѣютъ соединиться съ отрицательными газіонами. Такимъ образомъ весь положительный зарядъ газа передается изолированной пластинкѣ, гдѣ онъ можетъ быть измѣренъ электрометромъ. А такъ какъ этотъ зарядъ равенъ $ne$, то $ne$ легко измѣряется. Если мы еще найдемъ способъ измѣрить $n$, то будемъ въ состояніи вычислить и $e$. Способъ измѣренія $n$ основанъ на открытіи Уильсона, что газіоны служатъ центрами, около которыхъ образуются капельки воды, когда газіоны окружены влажнымъ воздухомъ,

охлаждаемымъ ниже точки росы. Айткенъ показалъ, что въ чистомъ, свободномъ отъ пыли воздухѣ очень трудно охлажденiемъ образовать туманъ, ибо здѣсь нѣтъ тѣхъ центровъ, около которыхъ могли бы собираться капельки. Если же въ чистомъ воздухѣ имѣются газiоны, то въ немъ появляется туманъ при пересыщенiи, гораздо меньшемъ того, которое требуется для образованiя замѣтнаго тумана въ воздухѣ, не содержащемъ газiоновъ.

Въ достаточно пересыщенномъ воздухѣ на эти газiоны выдѣляются капельки, образующiя облако, и такимъ образомъ сами газiоны становятся видимыми. Это первый шагъ по пути, который приведетъ къ подсчету нашихъ газiоновъ; однако капельки слишкомъ малы и слишкомъ многочисленны, чтобы ихъ можно было непосредственно сосчитать. Пусть въ чистомъ воздухѣ, заключенномъ въ сосудѣ, находится нѣкоторое число газiоновъ; пусть воздухъ насыщенъ водяными парами и внезапно расширяется; вслѣдствiе этого воздухъ охлаждается, пересыщается водяными парами, которые осѣдаютъ капельками на газiоны. Если мы знаемъ насколько былъ расширенъ воздухъ, то можемъ вычислить охлажденiе газа, а слѣд. и количество выдѣленной воды. Такимъ образомъ мы знаемъ объемъ воды въ видѣ капелекъ. Если бы мы знали еще объемъ каждой капельки, то нашли бы и число всѣхъ капелекъ. Для опредѣленiя величины одной капельки воспользуемся изслѣдованiемъ Стокса о скорости, съ которою маленькiй шаръ падаетъ въ воздухѣ; вслѣдствiе тренiя воздуха малыя тѣла падаютъ чрезвычайно медленно, и тѣмъ медленнѣе, чѣмъ они меньше. Стоксъ доказалъ, что въ воздухѣ капелька, радiусъ которой $a$, падаетъ со скоростью

$$v = \frac{2}{9}\frac{ga^2}{\mu},$$

гдѣ $g = 981$ есть ускоренiе силы тяжести и $\mu = 0{\cdot}00018$ есть коэффицiентъ тренiя воздуха; подставляя эти значенiя $g$ и $\mu$, имѣемъ

$$v = 1{\cdot}21.10^6.a^2.$$

Если изъ опыта опредѣлить $v$, то можемъ вычислить радiусъ, а слѣд. и объемъ капельки. Но скорость $v$, съ которою

падаетъ капелька, есть скорость, съ которою опускается облако, образовавшееся около газіоновъ; но эта послѣдняя скорость можетъ быть измѣрена по наблюденію за движеніемъ вершины облачка. Такимъ образомъ находится объемъ отдѣльной капельки и затѣмъ число $n$ всѣхъ капелекъ. Но $ne$ уже опредѣлено изъ электрическихъ опытовъ; зная еще $n$, можно вычислить и $e$. Такимъ образомъ было найдено, что

$$e = 3{\cdot}4.10^{-10} \text{ эл.-ст. ед}$$

Опыты дѣлались съ воздухомъ, водородомъ и углекислотою; оказалось, что во всѣхъ этихъ газахъ іоны имѣютъ одинакіе заряды. Это говоритъ въ пользу допущенія, что электричество имѣетъ атомное строеніе.

Слѣдующимъ образомъ зарядъ газіона можно сравнить съ зарядомъ іона водорода, выдѣляемаго при электролизѣ. Извѣстно, что при прохожденіи электромагнитной единицы или $3.10^{10}$ электростатическихъ единицъ электричества чрезъ подкисленную воду выдѣляется 1·23 ccm водорода (при $15^0$ и $1^{atm}$); если при этой температурѣ въ 1 ccm газа заключается $N$ частицъ, то въ 1·23 ccm заключается 2·46 $N$ іоновъ водорода. Слѣд., если $E$ есть зарядъ электролитическаго іона водорода, то

$$2{\cdot}46\, NE = 3.10^{10},$$

откуда

$$E = \frac{1{\cdot}22.10^{10}}{N}$$

Зарядъ газіона, какъ мы видѣли, равенъ $3{\cdot}4.10^{-10}$. Если бы $N = 3{\cdot}6.10^{19}$, то зарядъ газіона равнялся бы заряду электролитическаго іона. Въ кинетической теоріи газовъ выработаны пріемы, при помощи коихъ число $N$ — такъ называемая *постоянная Авогадро*—опредѣляется; получаемыя тамъ значенія этого числа колеблются, смотря по гипотезамъ, которыя мы примемъ относительно природы частицъ и молекулярныхъ силъ. Значеніе $3{\cdot}6.10^{19}$ совпадаетъ съ лучшими изъ этихъ опредѣленій, и отсюда мы заключаемъ, что *зарядъ газіона равенъ заряду электролитическаго іона.*

Уильсонъ, пользуясь совершенно инымъ способомъ, нашелъ для $e$ почти то же значеніе. Его методъ основывался на томъ фактѣ, что для осѣданія паровъ на отрицательныхъ газіонахъ требуется меньшее пересыщеніе, чѣмъ для осѣданія ихъ на положительныхъ газіонахъ. Надлежащимъ выборомъ степени пересыщенія можно сдѣлать такъ, чтобы туманъ выдѣлялся только на отрицательные газіоны и чтобы каждая его капелька была заряжена отрицательно. Наблюдая скорость, съ которою опускается облачко, мы можемъ указаннымъ выше способомъ опредѣлить вѣсъ отдѣльной капельки. Если теперь надъ нашимъ облачкомъ помѣстить положительно заряженную пластинку, то эта пластинка притягиваетъ къ себѣ облачко, и зарядъ пластинки можно регулировать такъ, чтобы электрическое притяженіе уравновѣшивало вѣсъ капельки, и чтобы эта послѣдняя – на подобіе гроба Магомета - оставалась неподвижною, взвѣшанною въ воздухѣ. Если чрезъ $X$ назвать напряженіе электрическаго поля и $e$—зарядъ капельки, то сила электрическаго притяженія, которая дѣйствуетъ на капельку, будетъ $Xe$. Такъ какъ $Xe$ равно вѣсу капельки, который извѣстенъ, и такъ какъ $X$ можно измѣрить, то и $e$ можно опредѣлить.

Равенство заряда газіона заряду электролитическаго іона водорода доказано Таунсендомъ; для этого онъ опредѣлялъ коэффиціентъ диффузіи газіоновъ и скорость, которую газіонъ пріобрѣтаетъ подъ дѣйствіемъ данной электрической силы.

Представимъ себѣ, что между двумя горизонтальными плоскостями помѣщается опредѣленный объемъ іонизированнаго газа, и примемъ что въ каждомъ горизонтальномъ слоѣ число іоновъ постоянно, но измѣняется отъ одного слоя до другого. Назовемъ $x$ разстояніе одного слоя отъ нижней плоскости и $n$ число газіоновъ одного рода въ единицѣ объема такого слоя. Если $D$ есть коэффиціентъ диффузіи газіоновъ, то чрезъ единицу площади въ теченіе одной секунды проходитъ внизъ число газіоновъ $= D.dn/dx$; слѣдовательно средняя скорость опускающихъ газіоновъ $= (D/n)dn/dx$. Сила, приводящая газіоны въ движеніе, равна измѣненію того парціальнаго давленія, которое обусловливается газіонами; если это давленіе обозначимъ $p$, то сила, дѣйствующая на газіоны, находящіеся въ единицѣ объема, будетъ $dp/dx$, а постоянная сила, дѣйствующая на каждый отдѣльный газіонъ, $=(dp/dx)/n$. Скорость, которую газіонъ пріобрѣтаетъ подъ дѣйствіемъ извѣстной силы,

можно вычислить изъ измѣренія скоростей, пріобрѣтаемыхъ газіонами въ электрическомъ полѣ. Такія измѣренія были выполнены Рутерфордомъ и Зелени; они показали, что эти скорости пропорціональны дѣйствующимъ на газіоны силамъ. Поэтому, если $A$ скорость при электрической силѣ $Xe$, единицѣ силы соотвѣтствуетъ скорость $A/Xe$, а силѣ $(dp/dx)/n$ соотвѣтствуетъ скорость $A(dp/dk)/n\,Xe$; но эта скорость, какъ мы видѣли, равна $(D/n)\,dn/dx$; слѣд.

$$(1) \qquad \frac{dp}{dx}\,\frac{A}{Xe} = D\,\frac{dn}{dx}\,.$$

Если комплексъ газіоновъ обладаетъ свойствами совершеннаго газа, то давленіе $p$ должно быть въ постоянномъ отношеніи къ $n$, къ числу газіоновъ въ единицѣ объема; при одной и той же температурѣ это отношеніе одинаково для всѣхъ газовъ; слѣд., если $N$ есть постоянная Авогадро, т. е. число частицъ въ кубическомъ центиметрѣ при атмосферномъ давленіи $P$, то

$$p : P = n : N$$

и уравненіе (1) даетъ

$$\frac{PA}{XD} = Ne$$

Слѣдовательно, если $D$ и $A$ извѣстны, то можно найти значеніе $Ne$. Такимъ образомъ Таунсендъ нашелъ, что для воздуха, водорода и углекислоты $Ne$ имѣетъ одно и то же значеніе:

$$Ne = 1{\cdot}24.10^{10}.$$

Если $E$ зарядъ іона водорода, то, какъ мы видѣли

$$NE = 1{\cdot}22.10^{10}$$

Эти опыты доказываютъ слѣдовательно, что $e = E$, т. е. что зарядъ газіона равенъ заряду электролитическаго іона водорода.

Равенство этихъ зарядовъ было доказано еще Уильсономъ слѣдующимъ очень простымъ способомъ. Въ сильно нагрѣтый воздухъ вводилось каждую секунду опредѣленное количество паровъ металлической соли; этотъ паръ іонизировался и смѣсь воздуха съ паромъ пріобрѣтала значительную электропроводностъ. Электрическій токъ чрезъ такой паръ — при непрерывномъ уве-

личеніи электродвижущей силы — сначала усиливается, но, послѣ достиженія извѣстнаго значенія, не измѣняется, какъ бы ни увеличивалась далѣе электродвижущая сила; это максимальное значеніе тока называется „токомъ насыщенія". Уильсонъ нашелъ, что токъ насыщенія чрезъ пары соли какъ разъ равенъ току, который въ водномъ растворѣ той же соли въ одну секунду разлагаетъ такое же количество ея, какое въ предыдущемъ опытѣ въ каждую секунду вводилось въ горячій воздухъ.

Слѣдуетъ замѣтить, что этотъ результатъ даетъ средство опредѣлить постоянную Авогадро, независимо отъ гипотезъ о формѣ и величинѣ частицъ, а также о способѣ взаимодѣйствія послѣднихъ. Если попрежнему $N$ означаетъ эту постоянную и $e$ — зарядъ іона, то $Ne = 1{\cdot}22.10^{10}$. Но, какъ мы видѣли, $e = 3{\cdot}4.10^{10}$, слѣдовательно

$$N = 3{\cdot}9.10^{19}.$$

Изучаемъ-ли мы прохожденіе электричества чрезъ жидкости или чрезъ газы, мы всегда приходимъ къ представленію объ естественной единицѣ или объ *атомѣ электричества;* всякій зарядъ есть цѣлое кратное отъ такого атома, какъ данная масса водорода есть цѣлое кратное отъ массы атома водорода.

## 2) *Масса газіона.*

Разсмотримъ теперь природу тѣхъ системъ, которыя переносятъ заряды; для простоты начнемъ со случая очень разрѣженнаго газа, гдѣ движенія газіоновъ не задерживаются столкновеніями съ частицами газа. Представимъ себѣ, что газіонъ съ массою $m$ и съ зарядомъ $e$ движется въ плоскости бумаги, и въ то же время на него дѣйствуетъ постоянное магнитное поле, направленное перпендикулярно къ этой плоскости. Извѣстно, что при такихъ обстоятельствахъ на газіонъ дѣйствуетъ механическая сила равная $Hev$, гдѣ $H$ напряженіе магнитнаго поля и $v$ — скорость газіона. Направленіе этой силы лежитъ въ плоскости бумаги и перпендикулярно къ пути газіона. Такъ какъ сила всегда перпендикулярна къ направленію движенія газіона, то ни скорость его, ни дѣйствующая на него сила не измѣняются; поэтому газіонъ описываетъ такой же путь, какой описываетъ тѣло, на ко-

торое дѣйствуетъ постоянная нормальная сила. Легко доказать, что этотъ путь есть окружность, радіусъ коей опредѣляется уравненіемъ

(1) $$a = \frac{mv}{eH}.$$

Скорость газіона $v$ можно опредѣлить слѣдующимъ образомъ. Примемъ, что газіонъ движется горизонтально въ плоскости бумаги; перпендикулярно къ этой плоскости разовьемъ постоянное магнитное поле напряженія $H$; тогда на газіонъ дѣйствуетъ вертикальная сила равная $Hev$; если кромѣ того разовьемъ вертикальное электрическое поле напраженія $X$, то на газіонъ будетъ дѣйствовать вертикальная сила $Xe$. Выберемъ эти силы равными и прямопротивоположными; о томъ, что эти условія достигнуты, можно судить по тому, что тогда подъ вліяніемъ электрической и магнитной силъ газіонъ движется такъ же, какъ если бы этихъ силъ не было. Если сравняемъ обѣ силы, то получаемъ

$$Xe = Hev,$$

откуда

(2) $$v = \frac{X}{H}.$$

Если мы имѣемъ средство слѣдить за движеніемъ газіона, то можемъ опредѣлить радіусъ круга, который онъ описываетъ подъ вліяніемъ постоянной магнитной силы, и опредѣлить напряженіе электрическаго поля, дѣйствіе котораго уравновѣшиваетъ дѣйствіе магнитнаго поля. Тогда по уравненіямъ (1) и (2) мы найдемъ $v$ и $e/m$.

### 3. *Значеніе e/m для отрицательныхъ газіоновъ въ разрѣженныхъ газахъ.*

Значеніе $e/m$ было такимъ образомъ опредѣлено для отрицательныхъ газіоновъ, изъ которыхъ состоятъ катодные лучи, играющіе столь важную роль въ электрическомъ разрядѣ чрезъ разрѣженный газъ. Это же отношеніе было измѣрено для отрицательныхъ газіоновъ, высылаемыхъ изъ металла, когда онъ подвергается дѣйствію ультрафіолетовыхъ лучей или нагрѣвается

до бѣлаго каленія. Эти опыты привели къ тому важному заключенію, что $e/m$ имѣетъ всегда одно и то же значеніе, каковъ бы ни былъ газъ, въ которомъ находятся іоны, и каковъ бы ни былъ металлъ, изъ котораго іоны высылаются. Во всѣхъ случаяхъ, когда отрицательные газіоны движутся со скоростью значительно меньшею скорости свѣта, $e/m$ оказывалось приблизительно равнымъ $10^7$, если принять за единицы центиметръ, граммъ и секунду и заряды измѣрять въ электромагнитныхъ единицахъ. Такъ какъ для электролитическаго іона водорода $e/m$ равно лишь $10^4$, и такъ какъ зарядъ газіона, какъ мы видѣли, равенъ заряду іона водорода, то ясно, что масса носителя отрицательнаго заряда составляетъ лишь тысячную долю атома водорода, такой массы, которую долго считали наименьшею изъ тѣхъ, которыя могутъ существовать самостоятельно.

Для этой единицы отрицательнаго электричества предложено названіе *электрона* [1]). Эти электроны всегда одни и тѣ же, какъ бы и гдѣ бы ни происходило наэлектризованіе. Слѣд. отрицательное электричество имѣетъ строеніе подобное строенію газа, причемъ электроны играютъ роль частицъ. „Отрицательная электрическая жидкость", если употребить старое названіе, уподобляется газообразной жидкости съ электронною структурою вмѣсто молекулярной.

### 4. *Носители положительныхъ зарядовъ.*

Тѣми же пріемами мы можемъ опредѣлить $e/m$ для носителей положительныхъ зарядовъ. Это было сдѣлано Виномъ для тѣхъ положительныхъ зарядовъ, которые наблюдаются въ круксовской трубкѣ, и мною для тѣхъ положительныхъ зарядовъ, которые испускаются раскаленною проволокою. Результаты этихъ измѣреній представляютъ поразительный контрастъ съ результатами для отрицательныхъ зарядовъ: тогда какъ для отрицательныхъ зарядовъ $e/m$ имѣетъ постоянное значеніе $10^7$, для положительныхъ зарядовъ это отношеніе никогда не бываетъ больше $10^4$, т. е. того значенія, которое это отношеніе имѣетъ, когда носителемъ заряда является атомъ водорода; во многихъ же случаяхъ $e/m$ имѣетъ

---

[1]) Electron = electric ion; самъ Томсонъ называетъ его corpuscle.

меньшее значенiе; это доказываетъ, что носителемъ положительнаго заряда является атомъ, масса котораго больше массы атома водорода. Значенiе *e/m* измѣняется въ зависимости отъ природы электродовъ и газа въ разрядной трубкѣ, совершенно такъ, какъ если бы носителями положительныхъ зарядовъ были атомы элементовъ, которые случайно присутствуютъ при положительномъ наэлектризованiи.

Эти результаты приводятъ насъ къ представленiю объ электричествѣ, которое имѣетъ замѣчательное сходство съ „унитарною теорiею" Франклина. Въ противоположность Франклину мы принимаемъ, что электрическая жидкость есть отрицательное, а не положительное электричество. Франклиновская „электрическая жидкость" соотвѣтствуетъ собранiю электроновъ, и именно отрицательное электричество есть собранiе электроновъ. Съ одного мѣста на другое электричество переносится вслѣдствiе того, что электроны изъ мѣста, гдѣ увеличивается положительное электричество, перемѣщаются въ то мѣсто, гдѣ увеличивается отрицательное электричество. Положительно наэлектризованное тѣло есть такое, которое потеряло часть своихъ электроновъ. Мы видѣли, что масса и зарядъ электроновъ могутъ быть прямо опредѣлены изъ опыта. Такимъ образомъ объ „электрической жидкости" мы знаемъ больше, чѣмъ о такихъ жидкостяхъ, какъ вода и воздухъ.

---

## Успѣхи оптики и оптической техники.

Р. Глезебрука [1]),

Изученiе оптики доставляетъ большее наслажденiе, и ея исторiя полна интереса. Я не намѣренъ охватить всю область, но разсмотрю лишь одинъ или два перiода, въ теченiе которыхъ,

[1]) Сокращенное изложенiе рѣчи, произнесенной на Оптическомъ Съѣздѣ: „Progress of Optical Science and Manufactures". From the inaugural address delivered before thi Optical Convention on May 30 by the president, Dr. R. T. Glazebrook, F. R. S. (Nature June 1, 1905).

какъ мнѣ кажется, теорія и практика взаимодѣйствовали замѣтнымъ образомъ, и выведу поученіе о соотношеніи, которое должно бы было существовать между ними и въ наши дни.

Съ этою цѣлью я могъ бы начать съ давняго времени. Птоломей въ своей попыткѣ открыть законы преломленія—очень удачной, какъ мы теперь знаемъ—и Архимедъ съ своимъ зажигательнымъ стекломъ (если только онъ его дѣйствительно изобрѣталъ) имѣли въ виду практическія цѣли. Но сегодня мы будемъ имѣть въ виду времена болѣе близкія къ намъ. Конецъ 17-го столѣтія есть одинъ изъ такихъ періодовъ. Телескопъ былъ изобрѣтенъ около 1608, а микроскопъ нѣсколько раньше, около 1590; и тотъ и другой въ Голландіи. Узнавши объ этихъ изобрѣтеніяхъ, Галилей построилъ свой первый телескопъ въ 1610 г. Чрезъ годъ Кеплеръ въ своей „Dioptrica“ описалъ астрономическій телескопъ, окуляръ котораго состоялъ изъ одного или изъ двухъ собирающихъ стеколъ. Вплоть до появленія книги Декарта о діоптрикѣ (1637 г.) другихъ телескоповъ не знали. Законъ преломленія былъ впервые обнародованъ Снелліемъ въ 1621 году.

Такимъ образомъ къ 1660 г. вся важность телескопа была оцѣнена, и предѣлы его примѣненія извѣстны. Въ 1663 г. Грегори описалъ первый катоптрическій телескопъ, въ коемъ нѣкоторые недостатки прежнихъ были устранены. Около того же времени два ученыхъ, труды которыхъ оставили неизгладимые слѣды въ наукѣ—Христіанъ Гюйгенсъ (1629—1695) и Исаакъ Ньютонъ (1642—1727), были приведены къ изученію этого инструмента.

Глубокій ученый, основавшій теорію волнъ и открывшій двойное преломленіе, Гюйгенсъ былъ въ то же время искусный механикъ: онъ самъ шлифовалъ стёкла и устроилъ телескопъ. Изъ теоретическихъ соображеній онъ показалъ, что многіе выдающіеся недостатки телескопа обусловливаются тѣмъ обстоятельствомъ, что лучи отдаленной звѣзды, проходя разныя части линзы, не сходятся въ одной точкѣ оси, и что для линзы даннаго поперечника эта осевая аберрація быстро уменьшается по мѣрѣ возростанія ея фокуснаго разстоянія. Увеличеніе телескопа зависитъ отъ отношенія фокуснаго разстоянія объектива къ фокусному разстоянію окуляра. Слѣдовательно, увеличивая оба эти

разстоянія, но такъ, чтобы отношеніе ихъ оставалось постояннымъ, можно сохранить увеличеніе и уменьшить аберрацію.

Вслѣдствіе этого Гюйгенсъ приготовилъ линзу въ 120 футъ фокуснаго растоянія; трубы уже нельзя было дѣлать, и свои линзы онъ укрѣпилъ на концахъ длинной жерди, подвѣшенной на веревкахъ. Съ помощью одного изъ такихъ „воздушныхъ" телескоповъ, который потомъ былъ пожертвованъ Королевскому Обществу, Гюйгенсъ открылъ кольцо Сатурна и его четвертаго спутника.

Въ этомъ случаѣ стремленіе усовершенствовать инструментъ заставило обратиться къ теоріи, и теорія привела оптика къ несомнѣнному успѣху. Правда успѣхъ былъ неполный, но это потому, что недостатокъ, который Гюйгенсъ хотѣлъ устранить, зависѣлъ не отъ одной сферической аберраціи.

И въ другой области инструментальнаго искуства Гюйгенсъ знаменитъ примѣненіемъ науки къ практикѣ. Его трактатъ „Horologium Oscillatorium", въ которомъ чрезвычайно искусно изслѣдуются различныя задачи о движеніи, былъ долгое время образцовымъ трудомъ о часахъ; онъ былъ первымъ, приложившимъ результаты этихъ научныхъ изслѣдованій къ практикѣ: въ 1657 г. онъ примѣнилъ маятникъ къ часамъ, какъ регуляторъ при измѣреніи времени. Впрочемъ сэръ Бекетъ утверждаетъ, что первые часы съ маятникомъ были построены въ 1621 г. Гаррисомъ для Лондонскаго собора Св. Павла.

Въ 1665 г. вышло посмертное изданіе сочиненія итальянскаго іезуита Гримальди, озаглавленное „Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride aliisque annexis"; оно содержитъ нѣсколько важныхъ открытій, между ними диффракцію свѣта.

Только-что получивши въ Кембриджѣ степень B. A., Ньютонъ въ 1666 г. на Стаурбриджской ярмаркѣ покупаетъ призму съ тѣмъ, чтобы „испытать съ нею знаменитое явленіе цвѣтовъ" и повторить нѣкоторые опыты Гримальди. Въ этомъ же году онъ шлифуетъ „оптическія стёкла иной формы, чѣмъ сферическія". Онъ уже интересовался астрономіею, можетъ быть, уже сдѣлалъ свое великое открытіе, но еще не успѣлъ его подтвердить. Въ письмѣ къ Ганлею въ 1686 г. по поводу возраженій, вызванныхъ обнародованіемъ „Principia", онъ пишетъ: „но что касается двойной пропорціи, то я ее вывелъ изъ кеплеровской теоремы уже двадцать лѣтъ тому назадъ".

Знаменитое яблоко, какъ полагаютъ, упало въ саду его матери въ Вульсторпѣ, куда онъ удалился въ 1665 г. вслѣдствіе чумы. Разсказъ объ яблокѣ имѣетъ нѣкоторую достовѣрность; онъ былъ переданъ Вольтеру Кондьютомъ, мужемъ племянницы Ньютона; а дерево, съ котораго будто бы упало это яблоко, видѣлъ еще Брюстеръ въ 1822 г.

Дѣлалось не мало догадокъ почему столько лѣтъ не обнародовалось открытіе, что одна и таже причина заставляетъ падать яблоко и удерживаетъ луну на ея орбитѣ. Наиболѣе справедливая догадка была высказана Глешеромъ, который обратилъ вниманіе на то, что требовалось знать взаимное притяженіе не только между двумя матеріальными частицами, но между двумя сферическими тѣлами большихъ размѣровъ, и что эта задача была разрѣшена лишь много позже; какъ бы то ни было, въ 1667 г. Ньютонъ былъ астрономомъ и сознавалъ необходимость точныхъ астрономическихъ наблюденій, и въ виду этого имъ предприняты были усовершенствованія телескопа.

Опыты съ призмою привели Ньютона въ 1666 г. къ открытію спектра; въ то время о цвѣтахъ было очень мало извѣстно и „Treatise on Optics“ Барро, изданный съ помощью Ньютона въ 1669 г., содержалъ весьма невѣрные взгляды; но вскорѣ послѣ того Ньютонъ могъ уже высказать заключеніе, что бѣлый свѣтъ неоднороденъ и состоитъ изъ лучей различной преломляемости; изображеніе спектра, столь знакомое намъ по многочисленнымъ учебникамъ, происходитъ изъ ньютоновской „Optics“, напечатанной въ 1704 г., хотя его открытія, касающіяся анализа бѣлаго свѣта, были представлены Королевскому Обществу въ цѣломъ рядѣ мемуаровъ въ 1671 г. и излагались имъ въ качествѣ люкасовскаго профессора въ Кембриджѣ, на лекціяхъ 1669, 1670 и 1671 гг.

Связь этихъ физическихъ опытовъ съ техникою телескоповъ очевидна; линзы дѣйствуютъ, какъ призмы, и разлагаютъ свѣтъ на его составные цвѣта. Никакія измѣненія формы не устраняютъ этого вполнѣ и Ньютонъ пришелъ къ заключенію (слишкомъ поспѣшному, какъ теперь извѣстно), что рефракторные телескопы не подлежатъ дальнѣйшему усовершенствованію: ихъ недостатки неразрывно связаны съ преломленіемъ свѣта.

Но въ изображеніяхъ, образуемыхъ отраженіемъ нѣтъ недостатковъ, и потому Ньютонъ пришелъ къ заключенію, что опти-

ческій инструментъ можетъ быть доведенъ до какой-угодно степени совершенства, если только отражающую поверхность можно также легко полировать, какъ стекло, если эта поверхность будетъ столько же отражать свѣта, сколько стекло пропускаетъ его, и если наконецъ будетъ найденъ способъ сообщать этой поверхности форму параболоида. Въ 1668 г. онъ изобрѣлъ способъ полировки, которымъ, какъ онъ полагалъ, „фигура можетъ быть исправлена до конца“, послѣ чего появился ньютоновскій отражательный телескопъ, одинъ экземпляръ котораго, сдѣланный собственными руками Ньютона, принадлежитъ теперь Королевскому Обществу. Всѣ тѣ превосходные инструменты, которые способствовали развитію нашихъ свѣдѣній о звѣздахъ, обязаны своими достоинствами ньютоновскому опыту съ призмою и выводамъ изъ него.

Но эти опыты поучительны и въ другомъ отношеніи: Ньютонъ, невѣрно толкуя свои опыты надъ дисперсіею, рѣшилъ (ошибочно, какъ мы теперь знаемъ), что ахроматическая линза невозможна, и что цвѣтовые дефекты неустранимы въ рефракторномъ инструментѣ; результатомъ этого было то, что въ теченіе девяноста лѣтъ всякую попытку усовершенствовать эти инструменты считали почти праздною. Два или три ахроматическихъ телескопа были сдѣланы Голлемъ около 1730 г., но не ранѣе 1757 г. Доллондъ вновь изобрѣлъ этотъ инструментъ и положилъ начало правильному изготовленію подобныхъ линзъ.

Такимъ образомъ открытія Гюйгенса и Ньютона оказали сильное вліяніе на современные намъ инструменты. Дѣйствительно, въ обоихъ случаяхъ одно и то же лицо дѣлало открытія и изготовляло инструменты. Такое „совмѣстительство“ едва ли возможно въ наши дни; теперь имѣются математики — глубокіе знатоки теоріи свѣта — и оптики — знатоки своего искуства.

Оптическій Съѣздъ предназначается для согласованія усилій тѣхъ и другихъ. Но если 200 лѣтъ тому назадъ усовершенствованіе телескопа зависѣло отъ развитія теоретической оптики, то теорія въ свою очередь заинтересована усовершенствованіемъ инструментовъ и дѣлаемыхъ съ ихъ помощью наблюденій.

Гюйгенсъ основалъ теорію волнъ; но нужны были труды Юнга и геній Френеля для того, чтобы эта теорія могла замѣнить соперничавшую съ нею ньютовскую теорію истеченія.

Въ теченіе ста лѣтъ послѣ появленія ньютовской „Оптики" прогрессъ былъ очень слабый. Ученый міръ занимался только подражаніемъ Ньютону. Англійскіе математики, можетъ быть, подавленные величіемъ Ньютона, сами упражнялись въ изъясненіи его ученія. Въ Англіи теорія истеченія считалась совершенною, и существовало лишь нѣкоторое сомнѣніе относительно ея утвержденія о невозможности ахроматизма.

Съ началомъ новаго столѣтія произошла рѣзкая перемѣна. Томасъ Юнгъ (1773—1829) въ рядѣ мемуаровъ, появившихся между 1801 и 1811 г., вновь обратилъ вниманіе на труды Гюйгенса и его теорію волнъ поставилъ на твердое основаніе. Имъ былъ установленъ принципъ сложенія волнъ и указано, какъ изъ этого принципа можетъ быть объяснена интерференція.

Дѣло Юнга было завершено Френелемъ (1788—1827), который самостоятельно открылъ принципъ интерференціи, примѣнилъ его къ объясненію диффракціи, составилъ теорію двойного преломленія и вывелъ извѣстныя выраженія для яркостей лучей, отраженныхъ отъ поверхности прозрачнаго тѣла или прошедшихъ чрезъ нее.

Въ своихъ „Lectures on Natural Philosophy" Юнгъ прекрасно иллюстрировалъ примѣненіе новой теоріи свѣта къ инструментамъ. Френель былъ инженеръ по профессіи, служившій въ Ponts et Chaussées, и, какъ таковой, изобрѣлъ ступенчатыя линзы, употребляемыя на французскихъ маякахъ. Открытія этихъ двухъ ученыхъ измѣнили всю теорію, на которой основывалось построеніе оптическихъ инструментовъ; лишь недавно мы могли оцѣнить всю важность теоріи волнъ въ дѣлѣ построенія оптическихъ инструментовъ: безъ трудовъ этихъ двухъ ученыхъ и ихъ послѣдователей немногія изъ современныхъ открытій астрономовъ, и немногіе изъ результатовъ оптиковъ были бы возможны; объективы микроскопа или телескопа доведены до теперешняго совершенства потому, что изъ ученія Юнга и Френеля выведены указанія для искуства обтачиванія стеколъ.

Въ первые годы прошлаго столѣтія въ этомъ дѣлѣ англичане были впереди другихъ. Труды по астрономіи обоихъ Гершелей слишкомъ извѣстны; хотя успѣхи старшаго Гершеля обусловливались скорѣе его механическимъ искуствомъ, чѣмъ глубокимъ знаніемъ теоретической оптики, но Джонъ Гершель много способствовалъ примѣненію теоріи къ практикѣ.

Нѣсколько раньше Фраунгоферъ (1787—1828), современникъ Юнга и Френеля, нашелъ, что изготовленіе ахроматической линзы „зависитъ отъ точнаго опредѣленія показателей преломленія, и что главное препятствіе тутъ заключается въ затрудненіи имѣть однородный источникъ свѣта, который бы могъ служить образцомъ". Въ качествѣ таковаго онъ воспользовался черными линіями солнечнаго спектра, замѣченными еще Вульстеномъ; здѣсь мы имѣемъ примѣръ того, какъ практическая нужда вызываетъ развитіе науки, ибо изъ этихъ опытовъ Фраунгофера вытекаетъ весь спектральный анализъ.

Такимъ образомъ теорія и практика прогрессируютъ вмѣстѣ; каждая изъ нихъ въ отдѣльности можетъ итти впередъ очень недалеко, и лишь законное пользованіе гипотезою, поддерживаемое опытною провѣркою, ведетъ насъ къ новому знанію и приближаетъ насъ къ истинѣ.

До середины прошлаго столѣтія мы въ Англіи принимали самое дѣятельное участіе въ этомъ прогрессѣ; къ упомянутымъ уже ранѣе именамъ можно прибавить еще и Гамильтона. Въ 1832 г. Эри далъ объясненіе аберраціи линзы камеры-обскуры, которое оказалось чрезвычайно важнымъ для позднѣйшихъ конструкторовъ фотографическихъ объективовъ, тогда какъ „Theory of Systems of Rays" Гамильтона содержала сущность всего того, что необходимо для точнаго вычисленія аберраціи такого стекла.

Но въ то время фотографическихъ объективовъ еще не изготовляли; а когда Дагеръ въ 1839 г. объявилъ о своемъ открытіи, работы Эри и Гамильтона были уже забыты у насъ, а на континентѣ ихъ почти и не знали.

Затѣмъ теорія и практика разошлись въ Англіи. Важность октрытія Дагера была сразу оцѣнена и англійскіе оптики принялись за работы не безъ нѣкотораго успѣха въ усовершенствованіи линзы, но дѣло было ведено эмпирически; конечно, нѣкоторый успѣхъ и такъ былъ возможенъ и даже былъ достигнутъ. Оптики-практики, конечно, не обращались за помощью къ ученымъ запискамъ Кембриджскаго Философскаго Общества и Королевскаго Общества въ Дублинѣ; но оптики другой націи пришли, наконецъ, къ убѣжденію, что дальнѣйшіе успѣхи могутъ быть достигнуты лишь послѣ полнаго знакомства съ дѣйствіемъ

линзы на проходящіе чрезъ нее лучи, и все усовершенствованіе оптическаго искуства послѣднихъ лѣтъ идетъ изъ Германіи.

Здѣсь я еще разъ отмѣчу примѣръ того, какъ соединенныя наука и практика достигаютъ успѣховъ, невозможныхъ для каждой изъ нихъ въ отдѣльности. Труды недавно умершаго Эрнеста Аббе представляютъ выдающійся примѣръ результатовъ разумнаго соединенія теоріи и практики. Это доказывается уже однимъ сравненіемъ статистическихъ данныхъ о торговлѣ оптическимъ товаромъ въ Германіи теперь и двадцать лѣтъ тому назадъ.

Исторія возникновенія іенскаго стекляннаго завода часто разсказывалась, и потому я повторю ее лишь вкратцѣ. Въ 1863 г. еще молодымъ человѣкомъ Аббе поселился въ Іенѣ въ качествѣ приватъ-доцента; вскорѣ послѣ этого, Карлъ Цейсъ, дѣлавшій тогда микроскопы изъ обыкновеннаго стекла, обратился къ Аббе за помощью для усовершенствованія инструмента. Задача, предложенная Аббе, была не изъ легкихъ; въ то время теорія микроскопа была еще далеко не закончена; поправки въ линзахъ дѣлались невѣрнымъ способомъ, основаннымъ на грубомъ опытѣ, и результаты были крайне сомнительны. На первой очереди предстояло разрѣшить трудную математическую задачу — найти путь лучей, проходящихъ чрезъ объективъ. Аббе очень скоро устранилъ недостатки обыкновенной теоріи. Онъ нашелъ необходимымъ примѣнить къ задачѣ теорію волнъ и въ 1870 г. создалъ *теорію микроскопическаго зрѣнія*, носящую теперь его имя; его изслѣдованія прямо вытекаютъ изъ изслѣдованій Френеля.

Изъ своей теоріи Аббе заключилъ, что, пользуясь стеклами, имѣвшимися тогда въ распоряженіи у оптиковъ, нельзя ожидать большого усовершенствованія микроскопическаго объектива. Между дисперсіею и преломляемостью разныхъ стеколъ должно существовать извѣстное соотношеніе, но ни въ одномъ изъ имѣвшихся стеколъ такого соотношенія не наблюдалось. Ознакомившись съ инструментами на выставкѣ въ Сутъ-Кенсингтонѣ 1876 г., Аббе окончательно утвердился въ этомъ выводѣ, и въ своемъ отчетѣ объ этой выставкѣ онъ писалъ: „будущность микроскопа — въ смыслѣ усовершенствованія его діоптрическихъ качествъ — находится въ рукахъ фабрикантовъ стекла".

Изслѣдованія Петцфаля и фонъ Зейделя привели къ тѣмъ же выводамъ относительно фотографическихъ объективовъ; изслѣдо-

ванія ф. Зейделя были сдѣланы въ 1856—7 гг., но главный его мемуаръ былъ написанъ лишь въ 1880 г., а напечатанъ въ 1898 г. Изъ этихъ изслѣдованій вытекало, что со стеклами находившимися тогда въ торговлѣ, невозможно было сдѣлать поле фотографическаго объектива одновременно плоскимъ и ахроматическимъ.

Такимъ образомъ теоретическія изслѣдованія указывали, что препятствіе къ дальнѣйшему прогрессу можетъ быть устранено только изготовленіемъ новыхъ стеколъ, обладающихъ опредѣленными свойствами. Надо замѣтить, что еще раньше это было признано нашими соотечественниками Гаркуртомъ и проф. Стоксомъ; послѣдній за восемь лѣтъ до 1870 г. старался, хотя и безуспѣшно, изготовлять нужныя стекла.

Аббе былъ счастливѣе; его отчетъ попалъ въ руки Dr. Шота, владѣльца стекляннаго завода въ Виттелѣ, вполнѣ оцѣнившаго его значеніе. Въ 1881 г. Шотъ снесся съ Аббе, и въ слѣдующемъ году онъ переселился въ Іену, гдѣ основалъ фирму „Schott und Genossen".

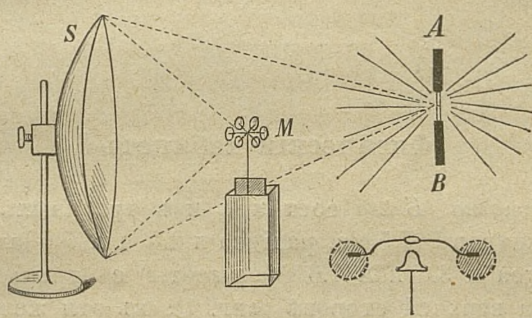
Въ первомъ каталогѣ іенскаго стекляннаго завода значилось слѣдующее: „Наше промышленное учрежденіе впервые предлагаетъ отчетъ о научномъ изслѣдованіи надъ зависимостью между оптическими свойствами и химическимъ составомъ твердыхъ аморфныхъ сплавовъ, которое было предпринято нижеподписавшимися (Шотъ и Аббе) съ цѣлью найти химико-физическія основанія для свойствъ оптическихъ стеколъ". Дѣлу оказалъ широкую помощь прусскій министръ просвѣщенія. Практическій результатъ виденъ изъ теперешняго каталога іенской фирмы; за него говоритъ также огромный экспортъ оптическаго товара изъ Германіи.

Дѣятельность Аббе въ Іенѣ представляетъ, можетъ быть, самый поразительный примѣръ того успѣха, который достигается кооперацією науки и опыта. Мы также могли бы прогрессировать, если бы слѣдовали по пути, давно намъ указанному Ньютономъ, Юнгомъ, Гершелемъ, Эри и другими, о которыхъ я говорилъ выше.

# Давленіе звуковыхъ волнъ

## Р. Вуда[1])

Извѣстно, что изобрѣтенный Круксомъ радіометръ предназначался сперва для доказательства максвеллевскаго давленія лучей, и хотя съ этой точки зрѣнія онъ былъ неудаченъ, тѣмъ не менѣе онъ сталъ классическимъ приборомъ для доказательства реакціи давленія частицъ газа. Такъ какъ прекрасные опыты Лебедева (въ Москвѣ), Никольса и Гуля (въ Америкѣ) оживили интересъ къ изслѣдованію давленія, то всякій приборъ, обнаруживающій давленіе волнъ, пріобрѣтаетъ значеніе.




Недавно, получивъ изображеніе электрической искры въ фокусѣ сферическаго зеркала, я замѣтилъ значительную механическую силу, развиваемую звуковыми волнами. Я ясно ощущалъ эти волны, когда помѣщалъ палецъ въ фокусъ зеркала, и мнѣ пришло въ голову, что свѣтовая мельница могла бы прійти въ движеніе подъ дѣйствіемъ этихъ волнъ и такимъ образомъ сама демонстрировать давленіе волнъ.

Я изготовилъ маленькое колесо изъ алюминіеваго листа и снабдилъ его крыльями изъ тонкой слюды; такое колесо при-

---

[1]) R. *W. Wood*, Apparat zum Nachweis des Druckes von Schallwellen. Phys. ZS. VI (1905).

крѣпляется къ шляпкѣ отъ компаса, которая надѣвается на остріе иголки, воткнутой въ деревянную подставку.

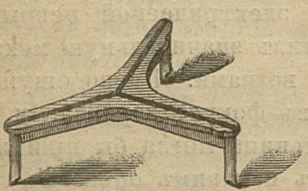
Такое колесо быстро вращается, когда съ помощью рефлектора звуковыя волны сосредоточиваются на одной его сторонѣ. Небольшими перемѣщеніями зеркала можно или прекратить вращеніе колеса или же измѣнить его направленіе. Я нашелъ, что лучше всего употреблять разряды большого индуктора, питаемаго перемѣннымъ токомъ въ 110 volt, въ цѣпь котораго введено соотвѣтствующее сопротивленіе. Въ секундарную цѣпь вводится параллельно большая лейденская банка; вслѣдствіе этого въ перерывѣ образуется сильно трещащая искра. Наиболѣе подходящими зеркалами могутъ служить тѣ, которыя обыкновенно употребляются для отраженія тепловыхъ лучей.

Расположеніе искрового прерывателя *A B*, зеркала *S* и мельничнаго колеса *M* видно изъ чертежа на предыдущей страницѣ.

---

## Физическій кабинетъ.

4. *Подставка Бойса* состоитъ изъ чугунныхъ или бронзовыхъ треножниковъ (7.5 cm. радіуса и 2.5 или 7.5 cm. высоты или 17.5 cm. радіуса и 3.6 или 7.6 cm. высоты) съ тремя радіальными желобками на верхней сторонѣ (фиг. 1); въ эти желобки опускаются установочные винты приборовъ. Къ треножнику можно привинтить доску.



фиг. 1

Для образованія подставки той или другой высоты нѣсколько треножниковъ ставятъ одинъ на другой; благодаря тому, что ножки каждаго треножника входятъ въ желобки нижестоящаго треножника, получается замѣчательно устойчивая подставка.

---

# ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ.

## ЖУРНАЛЪ,

ИЗДАВАЕМЫЙ

**П. А. Зиловымъ.**

## ТОМЪ ШЕСТОЙ

**1905 г.**

**Министерствомъ Народнаго Просвѣщенія журналъ рекомендованъ для фундаментальныхъ и ученическихъ (старшаго возраста) библіотекъ мужскихъ гимназій и реальныхъ училищъ, для фундаментальныхъ библіотекъ женскихъ гимназій и для библіотекъ учительскихъ институтовъ и семинарій.**

**ВАРШАВА.**

Типографія Варшавскаго учебнаго округа, Краковское Предмѣстье, № 3.

**1905.**

Дозволено Цензурою.
Варшава, 3 октября 1905 года.

# СОДЕРЖАНІЕ.

## Обзоры.



## Рѣчи и лекціи.



## Преподаваніе физики.

## Хроника.